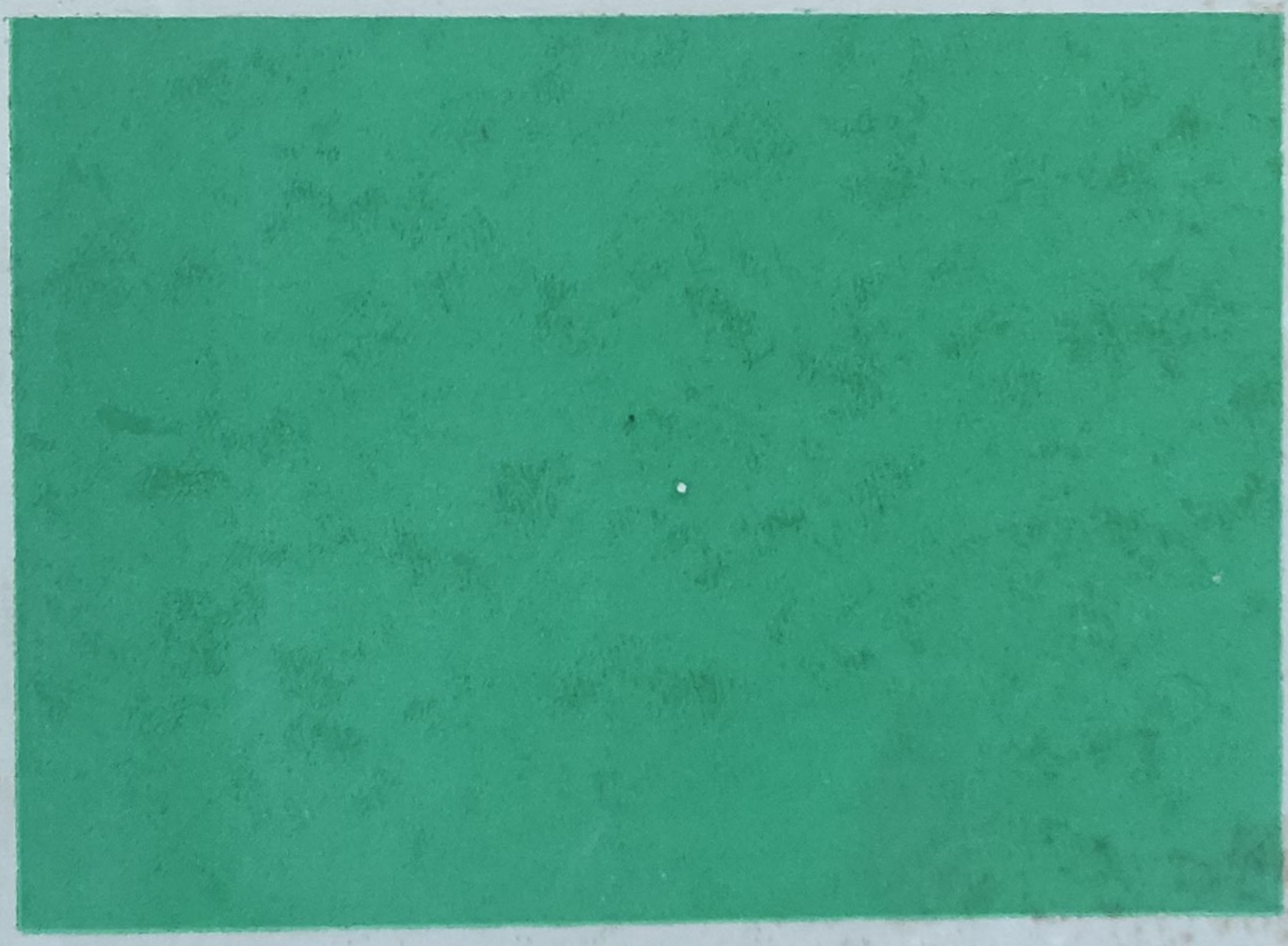
A. Carabulea

ingineria sistemelor de energie



editura junimea

CUPRINS

— Cuvînt înainte 7

1. CONCEPTE, PRINCIPII ȘI MODELE ÎN TEORIA ȘI INGINERIA SISTEMELOR 11
1.1. Considerații preliminare 11
1.2. Metode și modele în ingineria sistemelor 14

2. INGINERIA PROCESULUI DE CONDUCERE A SISTEMELOR DE ENERGIE .. 19
2.1. Formularea problemei 19
2.2. Concepția sistemică în conducerea energeticii 20
2.3 Modele de optimizare a conducerii în concepție sistemică. .....
2.4. Strategia conducerii ramurii energetice 27
2.4.1. Aspecte fenomenologice ale structurii și fluxului energetic 27
2.4.2. Modele de conducere ale ramurii energetice 36
2.4.3. Modelarea întreprinderilor energetice 38
2.4.3.1. Aspecte fenomenologice ale modelării funcțiilor întreprinderilor energetice 38
2.4.3.2. Modele matematice ale activității întreprinderilor energetice 44

3. CONDUCEREA PE BAZĂ DE OBIECTIVE A SISTEMELOR DE ENERGIE 47
3.1. Premizele conducerii sistemelor industriale 47
3.2. Modelele dinamicii industriale aplicate în conducerea sistemelor complexe 54
3.3. Conducerea pe bază de plan a sistemelor de energie 62

4. CONDUCEREA OPTIMALĂ A SISTEMELOR DE ENERGIE 99
4.1. Concepte și modele generale de optimizare 99
4.2. Modele în teoria controlului optimal și în teoria catastrofelor 104
4.2.1. Modele în teoria controlului optimal 104
4.2.2. Modele în teoria optimală a catastrofelor 110
4.3. Conducerea modală a sistemelor de energie 118
4.4. Modele cibernetice ale sistemelor de energie 123

5. INGINERIA PROCESULUI DE ORGANIZARE A SISTEMELOR DE ENERGIE — 141
5.1. Probleme și modele ale ingineriei organizării sistemelor de energie 141
5.2. Concepția organizării structurale a sistemelor de energie 146
5.3. Ingineria organizării sistemelor de energie în teoria cercetării operaționale 149
5.3.1. Aspecte fenomenologice ale teoriilor prognoză-căutare și risc-catastrofă 150

ceperea lucrării, beneficiind și de experiența acumulată de autor la New-York University între anii 1972—1973 cu ocazia unui schimb de specialiști urmărește impulsionarea dezvoltării unor noi direcții de cercetare și abordare a problemelor inginerești la nivelul școlii românești de organizare și conducere a sistemelor de energie.

Din conținutul lucrării se desprind atît concepția cît și modelele matematice care jalonează căile de transformare a organizării și conducerii sistemelor de energie dintr-o problemă operațională într-o problemă de concepție. Astfel pe baza concepției sistemice se pot cuantifica rațional legăturile sistemului proiectat cu ansamblul în care va funcționa utilizîndu-se căile de preluare a restricțiilor și diminuîndu-se efectele riscului tehnologic-economic-ecologic. Construirea și aplicarea modelelor matematice pe baza teoriilor cercetării operaționale (stocuri-așteptare; echipamente-ordonanțare; inginerie-umană-prognoză; căutare-risc; ingineria valorii-decizie) dă consistență metodelor de organizare și conducere maturizînd această disciplină prin scientizare. Modelele matematice concepute cuprind atît partea tehnologico-organizatorică cît și partea de conducere a sistemelor de energie și reflectă comportarea sistemelor în condiții de aplicare a tehnicilor de dirijare a structurilor complexe cum ar fi: teoria reglării, teoria dinamicii industriale, teoria conducerii modale, teoria catastrofelor și teoria controlului optimal. Programele de calculator sînt realizate pe probleme specifice ale sistemelor economico-inginerești și se pot aplica atît la nivelul proiectării-montajului instalațiilor energetice cît și la nivelul exploatării acestora. Cu ajutorul acestor programe se determină indicatorii de eficiență și calitate în condițiile aplicării noului mecanism economico-financiar în vederea stabilirii variantei optime de proiectare-montaj și exploatare a instalațiilor energetice. Caracterul de inginerie a problemelor analizate teoretic și practic în lucrare este justificat și prin diverse acțiuni realizate de autor în decursul ultimilor zece ani privind elaborarea proiectelor de an și de diplomă la nivelul cursurilor de zi la facultatea de energetică, realizarea unor contracte în cadrul atelierului de cercetare-proiectare din institut pe baza soluțiilor obținute, cu asistența calculatorului, privind economia de energie rezultată prin organizarea și conducerea optimală a sectoarelor energetice din cadrul întreprinderilor industriale; finalizarea strategiei de proiectare a părții de organizare și conducere a obiectivelor energetice (centrale, stații, linii) în cadrul cursurilor postuniversitare de inginerie economică și prin elaborarea unor studii pe probleme de cercetări fundamentale privind modul de abordare a problemelor de organizare și conducere pe baza teoriei ordinii, a teoriei stabilității și a teoriei căutării. Injectarea unei doze masive de efort intelectual la nivelul metodelor și modelelor de organizare și conducere poate economisi substan-

ţial efortul fizic şi poate duce la soluţii eficiente şi la lucrări de calitate în condiţii de cost minim.

Scopul lucrării constă în motivarea următoarelor idei: orientarea organizării şi conducerii sistemelor de energie către problemele de concepţie care au la bază cercetarea fundamentală în domeniu; dezvoltarea organizării şi conducerii în strînsă legătură cu tehnologia sistemelor de energie pe baza modelelor energocibernetice; scientizarea problemelor de organizare şi conducere şi inovarea lor pentru a nu fi tributari ideilor moştenite în acest domeniu întrucît ne despărţim greu de trecut şi acceptăm cu rezerve noile orientări în domeniu; evidenţierea căilor de pregătire a viitorilor specialişti prin prezentarea unei noi direcţii de aprofundare a specialităţii de energetician şi anume ingineria industrială atît la cursurile de zi şi la pregătirea prin doctorat, indicarea modului în care se poate proiecta partea de organizare şi conducere a sistemului de energie trecînd prin I.A.D. (informare, analiză, decizie); preîntîmpinarea efectelor crizei energetice printr-o strategie raţională de conservare a energiei şi prin clădirea căilor de realizare a independenţei energetice a ţării noastre în termenul prevăzut de Programul Directivă de cercetare în domeniul energiei; jalonarea căilor de optimizare a soluţiilor de proiect astfel ca productivitatea muncii să crească pe baza organizării şi conducerii inginereşti a sistemelor complexe.

Prin tematică şi conţinut lucrarea abordează probleme ce cad sub incidenţa preocupărilor atît a studenţilor din cadrul institutelor tehnice în general şi a facultăţilor cu profil energetic în special, a studenţilor din învăţămîntul economic, a cursanţilor din învăţămîntul post-universitar de inginerie economică cît şi a specialiştilor din producţie care se ocupă cu optimizarea activităţii energetice.

Mulţumim pe această cale tuturor celor care ne-au încurajat la realizarea lucrării şi celor care au contribuit la editarea şi tipărirea ei.

Autorul

Bucureşti 1 iunie 1985

1. CONCEPTE, PRINCIPII ȘI MODELE ÎN TEORIA ȘI INGINERIA SISTEMELOR

1.1. Considerații preliminare

Conceptele și principiile teoriei generale ale sistemelor care se regăsesc în ingineria conducerii și organizării sistemelor de energie sînt în principal următoarele: conceptele de sistem — model, conceptele de conducere — organizare; conceptele de informație-cibernetică, precum și conceptele decizie-optimizare; principiul coordonabilității; principiul incompatibilității; principiul incertitudinii; principiul de optimalitate în interacțiune și principiile ciberneticii industriale. Conceptul de sistem include un ansamblu de obiecte între care există o interacțiune de orice fel. Modelul reprezintă o sinteză a unei teorii prin intermediul simbolurilor numerice sau fizice cu scopul testării în diverse ipoteze a comportamentului sistemului cercetat.

Conducerea și organizarea se pot defini astfel: conducerea este o activitate specific umană, menită să asigure coordonarea resurselor din cadrul sistemelor modelate în vederea realizării unui obiectiv prestabilit în condiții de eficiență și calitate. Conducerea este o nouă „resursă" capabilă să antreneze colectivele de oameni pentru a deveni productivi și eficienți în ideea realizării unor produse de utilitate maximă. Obiectul conducerii se referă la ceea ce se conduce iar subiectul la cine conduce. Aceste două laturi ale conceptului de conducere se interacționează pe baza concepției sistemice de abordare a activității energetice. Organizarea este o proprietate a sistemelor reale ce permite ca acestea să prezinte un comportament independent al subsistemelor componente în cadrul ansamblului analizat. Informația fiind un concept primar cuprinde date care permit înlăturarea stărilor de incertitudine din structura unui sistem.

Conceptul de cibernetică după diverși autori se definește astfel: După Platon și Ampère cibernetica are înțeles de conducere a sistemelor fiind tehnica de alegere, în fiecare caz, a ceea ce poate fi făcut și ce trebuie făcut. După A. Mihram cibernetica permite cîntărirea prin gîndire a problemelor și alegerea lor judicioasă, creîndu-se totodată condiții ca oamenii să fie perfect conștienți de ceea ce se poate întîmpla și pentru a ști ce este de făcut. Cibernetica operează cu teoria reglajului la care sîmburele central îl deține retroacțiunea. Cibernetica mai comportă următoarele definiții: după N. Wiener cibernetica este

teoria conducerii și comunicației între mașini și organisme vii; după G. Klaus cibernetica este teoria sistemelor dinamice autoregulatoare și autoorganizatoare iar după I. Novak cibernetica este știința care folosește informația în scopul optimizării conducerii. Conceptul de decizie se definește ca ansamblu de reguli pentru conducerea și organizarea optimală a sistemelor. Conceptul de optimalitate vizează ordinea activității din cadrul unui sistem organizat astfel ca desfășurarea evenimentelor să se facă cu pierderi minime.

Optimizarea sistemelor poate fi staționară și dinamică. Ea se aplică pentru sisteme cu structură discretă și respectiv continuă. În funcție de complexitatea structurii deosebim: sisteme automate; sisteme rezolutive; sisteme ierarhice; sisteme predictive; sisteme cu autoorganizare, sisteme instruibile și sisteme autoreproductive. Sistemele automate reacționează univoc la registru restrîns de influențe externe. Sistemele rezolutive reacționează constant la influențe externe. Sistemele cu autoorganizare reacționează labil la semnale externe și se pot adapta la influențe necunoscute prin modificarea structurii și prin păstrarea individualității.

Principiile teoriei sistemelor comportă următoarele definiții: principiul coordonabilității arată că respectiv conducerea ierarhizat-descentralizată a sistemelor de energie (compuse din mai multe subsisteme interconectate) poate fi tot atît de bună ca și conducerea centralizată cu condiția să existe un sistem coordonator. Aplicarea acestui principiu se face pe baza concepției sistemice de organizare și conducere a energeticii care beneficiază de o structură ierarhică de decizie și control în vederea coordonării acțiunilor de la nivel strategic pînă la nivel operațional. Principiul incompatibilității arată că pe măsură ce complexitatea sistemului crește, posibilitatea de a se descrie comportarea sa, cu ajutorul unui model riguros, scade pînă la un nivel dincolo de care precizia și relevanța se exclud reciproc. Modelul construit pentru optimizarea sistemului trebuie să fie puternic agregat dar trebuie să asigure un raport corect între precizie — relevanță și să reflecte un grad satisfăcător de asemănare cu sistemul real. Principiul de incertitudine arată că în sistemele mari formate din mai multe subsisteme interconectate, stările subsistemelor și interacțiunea dintre ele pot fi simultan determinate numai pînă la un anumit grad de acuratețe. Principiul optimalității în interacțiune arată că dacă un sistem de energie (compus din mai multe subsisteme interconectate și un sistem coordonator) este optimal atunci fiecare sistem în interacțiune este optimal și viceversa.

Principiile ciberneticii industriale care se regăsesc la nivelul sistemelor de energie sînt următoarele: principiul consonanței; principiul disonanței; principiul analizei binare și principiul complementului extern. Principiul consonanței desenează organizarea sistemelor în ideea realizării stării optime de echilibru prin retroacțiune atît între subsistemele componente cît și între sistem luat ca întreg și mediu. Principiul disonanței desenează dezorganizarea sistemelor prin perturbații în sens distructiv prin efecte entropice și în sens constructiv prin efecte antientropice. Principiul analizei binare desenează stările de activitate și inactivitate ale sistemelor prin obținerea răspunsurilor sau absența lor la semnale externe. Principiul complementului extern este baza teoretică a mecanismului de compensare a consecințelor determinate de caracterul incomplet al schemelor formalizate de conducere. Schemele de conducere

cuprind prognoza stărilor mediului și determinarea normativă a acțiunilor de conducere inclusivă a obiectului comenzii. Partea constructivă a acestui principiu constă în utilizarea modelării cu ajutorul cutiei negre pentru compensarea incompletitudinii modelelor de conducere. El operează cu totalitatea procedurilor neformale de corectare a deciziei de comandă obținute în mod formalizat și implică utilizarea procedurilor neformale în conducerea sistemelor mari.

În cadrul conducerii și organizării sistemelor de energie se regăsesc proprietățile din cadrul teoriei sistemelor cum ar fi: decompozabilitatea; coordonabilitatea; controlabilitatea; observabilitatea și stabilitatea.

Decompozibilitatea sistemului de energie permite împărțirea lui în subsisteme pe baza teoriei sistemelor ierarhice atît sub aspectul schemei cît și a modelului care-l reprezintă. Sistemul de energie se poate descompune pe verticală în subsisteme reprezentînd diferite nivele de conducere și pe orizontală în subsisteme individuale ale procesului energetic analizat. Descompunerea sistemului de energie în subsisteme poate fi în cascadă fără și cu reacție inversă și descompunerea în subsisteme paralel. Fiecare dintre sisteme se descompune pe trei nivele și anume: nivelul strategico-tactic; nivelul operativ și nivelul de urmărire — control. Descompunerea sistemelor în subsisteme se face atît după criterii fizice cît și după criterii funcționale. În primul caz procesul este împărțit în subprocese iar în cazul al doilea întreprinderea ca sistem este divizată în sisteme pe funcțiuni cercetare-dezvoltare; aprovizionare-desfacere; producție, personal și funcția financiar-contabilă.

Coordonarea nivelelor de conducere echivalează cu rezolvarea problemei de optimizare a activității la fiecare nivel inclusiv armonizarea prin decizii a optimurilor parțiale într-un optim global pe sistem. Coordonarea se aplică după descompunerea sistemului în subsisteme atît fizic cît și matematic. Problema optimizării constă în reglarea subsistemelor ce compun sistemul de energie astfel încît să fie atins optimul global prin coordonarea optimurilor parțiale. Ușurarea rezolvării problemei constă în aplicarea la nivelul sistemului a tehnicii de descompunere coordonată. Coordonarea interacțiunilor dintre subsisteme se poate face predictiv și prin decuplare. În primul caz se precizează datele de intrare și se definește problema de reglare de la interfețele subsistemelor ce compun sistemul de energie. În cazul al doilea, subsistemele își realizează optimal, prin reacție, interacțiunile proprii pe baza atît a variabilelor de comandă cît și a celor de interacțiune. Coordonarea trebuie realizată atît la nivelul interacțiunilor cît și la nivelul obiectivelor prin intermediul funcției de eficiență și a restricțiilor din structura modelului de optimizat.

Controlabilitatea sistemelor de energie se referă la găsirea unei comenzi admisibile care să conducă pe un interval de timp sistemul din starea inițială într-o stare finală dorită de decident. Sistemul de energie este controlabil dacă fiecare subsistem este controlabil. La fel se pune problema și pentru subsistemele în interacțiune a unui sistem de energie în interacțiune.

Observabilitatea sistemelor de energie se poate defini astfel: sistemul este observabil pe un anumit interval de timp dacă pentru o comandă dată pe același interval, ecuația de dinamică și răspunsul căpătat pot determina starea inițială a sistemului. La fel se pune problema și la sistemul de energie în interacțiune care este global observabil în interacțiune dacă fiecare subsistem component este observabil în interacțiune.

Proprietatea de stabilitate a sistemelor de energie se definește astfel: un sistem este stabil dacă dă un anumit răspuns la o comandă și dacă își păstrează aproximativ același răspuns cît apar perturbații în datele comenzii. Stabilitatea sistemelor de energie se studiază cantitativ sub forma stabilității statice și dinamice cu ajutorul conducerii modale la apariția micilor, respectiv a marilor perturbații. Ea se poate studia și sub aspect calitativ pe baza teoriei stabilității structurale cu ajutorul topologiei diferențiale, denumită și teoria catastrofelor. Un sistem de energie este structural stabil dacă pentru o perturbație suficient de mică sistemul perturbat este izomorf, în sens topologic cu sistemul neperturbart. Stabilitatea în interacțiune a sistemelor de energie se numește stabilitate dinamică. Un sistem este structural stabil în interacțiune dacă proprietățile sale de stabilitate rămîn invariante la perturbații structurale.

Atributele conducerii (prevederea, organizarea, coordonarea, comanda și controlul) derivă din principiile și proprietățile sistemelor mari în categoria cărora se regăsesc sistemele de energie. Pe baza lor se poate trece la o nouă gîndire a sistemelor de energie și anume aplicarea concepției sistemice de proiectare-montaj-exploatare-dezvoltare în ideea transformării conducerii și organizării din probleme operaționale în probleme de concepție. În această idee, lucrarea de față arată modalitățile inginerești de realizare a structurilor noi de conducere și organizare prin: proiectarea structurilor de conducere; proiectarea părților de organizare a sistemelor de energie, proiectarea fluxului informatic pentru decizii optimale. Încercarea de folosire a conceptelor teorii sistemelor în cadrul ingineriei energetice de conducere, organizare, decizie a sistemelor mari se face cu ajutorul modelării matematice și a programelor de calculator care înlesnesc găsirea soluției optime de proiectare-montaj-exploatare a obiectivelor energetice astfel ca performanțele sistemului de energie să crească în condiții de efort financiar minim.

1.2. **Metode și modele în ingineria sistemelor**

Metodele ingineriei sistemelor aplicate la abordarea sistemelor ierarhizate de energie fac apel la modelare. Modelarea sistemelor mari care sînt neliniare se realizează prin liniarizare și biliniarizare; prin agregare cantitativă parțială și totală; prin convoluție și prin modelare calitativă. Modelarea calitativă operează atît cu funcții de transfer Laplace, (L) și (Z) cît și cu funcții ale topologiei diferențiale. Modelarea cantitativă a structurii și fluxului unui sistem de energie urmărește exprimarea legăturilor dintre mărimile de intrare cu cele de ieșire și cu cele de interacțiune dintre subsistemele componente în vederea optimizării comportamentului sistemului pe o anumită perioadă de timp.

Principiile modelării sistemelor de energie, care sînt sisteme mari ierarhizate, au următorul conținut: modelul trebuie să cuprindă o funcție de performanță cunoscută și un set de restricții la nivel global respectiv local și la nivelul intreracțiunilor dintre subsistemele ce compun sistemul de energie; sistemul coordonator după aplicarea deciziei urmărește minimizarea distanței între aceasta și acțiunea declanșată; subsistemele componente își pot optimiza propria lor activitate și pot transmite datele sistemului coordonator; obiecti-

vele subsistemelor trebuie să fie în acord cu cele ale sistemului coordonator; includerea subsistemului într-un sistem mai mare poate duce la micșorarea costurilor de optimizare pe baza influenței efectelor dintre subsisteme și dintre sistem și mediu; modelarea trebuie realizată în concepție sistemică verticală (proiectare-montaj-exploatare) și orizontală (sursă-consumator); optimizarea poate fi adîncită prin lărgirea gamei restricțiilor și prin construirea unor decizii care lărgesc evantaiul de posibilități privind conceperea și realizarea obiectivelor energetice. Modelarea poate fi fizică cînd se construiesc scheme ce reflectă structura și fluxul sistemului și modelare numerică cînd se reprezintă sistemul cu ajutorul relațiilor matematice.

Modelele ingineriei sistemelor de energie sînt: modele cantitative (Bellman; Pontreaghin; Cost-actualizat) și calitative (transformate Laplace; Z; și funcții Leapunov-Thom); modele liniare și neliniare; modele certe și incerte (risc și incertitudine totală); modele discrete, continue și hibride; modele statice și dinamice, deterministe și probabiliste; modele de simulare și de optimizare. În modelele de risc, probabilitățile evenimentelor sînt cunoscute dar nu se realizează la valorile predeterminate. Modelele probabiliste au în structura lor probabilități necunoscute. Pentru determinarea lor se face apel la istoria sistemului. Modelele de optimizare scot în evidență, față de cele de simulare, natura și denumirea variabilelor de optimizat. Această clasificare s-a făcut ținînd cont de natura variabilelor, legătura dintre variabile; gradul de cunoaștere a relațiilor cauzale din sistem; cantitatea de informație de care dispune procesul supus modelării și scopul urmărit. Tipurile de variabile care pot interveni într-un proces sînt: variabile de comandă; variabile de ieșire; variabile perturbatoare; variabile de stare; variabile endogene și exogene și variabile de interacțiune.

Modelele ingineriei sistemelor pot fi scrise, pentru totalitatea fenomenelor din cadrul unui sistem de energie, pe cele trei nivele ierarhice de conducere: strategico-tactice; operative și de urmărire-control, sau pot avea o formă agregat. Modelele pot fi deci scrise la nivel macroeconomic sub forma balanței legăturilor dintre ramuri sau modele la nivel microeconomic pentru optimizarea activității din întreprinderi. Modelele pot fi cu trecut, la care viitorul depinde de trecut, cum este cazul tuturor modelelor de optimizare și modele fără trecut la care viitorul depinde doar de prezent ca în cazul modelelor Markov. Dacă informația din model este puternic agregată se obține un model tip Fuzzy. Prin agregare, o parte din informația necesară rezolvării unor probleme este lăsată de o parte deliberat, pentru a rezolva mai ușor problema și pentru a conduce mai ușor sistemul. Agregarea permite înlocuirea unui set bogat de relații cu unul mai restrîns, fără a periclita situația. Agregarea este consistentă dacă face apel la o informație bogată și conduce la aceleași rezultate ca și modelul puternic agregat. Un model agregat este recomandat pentru rezolvarea problemelor de prognoză și este mai puțin preferat în probleme de reglare.

Orice model matematic sub forma lui de optimizare comportă în structura sa o funcție de eficiență (mono sau multicriterială) și un set de restricții de tip egalitate sau inegalitate. Algoritmele de rezolvare a modelelor matematice privind optimizarea sistemelor de energie diferă cînd restricțiile sînt de tip egalitate, de cazul cînd acestea sînt de tip inegalitate. În primul caz, pentru

rezolvare se recomandă algoritmul Lagrange, iar în cazul al doilea se recurge la algoritmul funcțiilor de penalizare. Modelarea sistemelor de energie se poate face atît cu ajutorul calculului diferențial și variațional cît și, mai ales, cu ajutorul cercetării operaționale. Inconsistența matematicii clasice pentru modelarea unor probleme complexe și dificultățile de rezolvare a modelelor unui sistem de energie ierarhizat au reclamat extinderea modelelor matematicii moderne (programare liniară și neliniară) la rezolvarea unor probleme de mari dimensiuni din domeniul energetic. Pe baza matematicii moderne s-au construit și aplicat în cadrul lucrării de față următoarele modele ale ingineriei sistemelor: modele de conducere și organizare a ramurii energiei electrice și termice pe baza ingineriei proceselor; modele de conducere și organizare funcțională a întreprinderilor energetice considerate sisteme cibernetice; modele de planificare și conducere a sistemelor complexe pe baza conceptelor dinamicii industriale; modele în teoria controlului opțional și în teoria optimală a catastrofelor făcîndu-se apel la conducerea modală a sistemelor de energie; modele cibernetice ale energeticii; modele ale ingineriei organizării sistemelor ierarhice de energie; modele ale cercetării operaționale pentru organizarea optimală a proiectării-montajului și exploatării sistemelor de energie, modelele funcției de cercetare-dezvoltare; modelele funcției de aprovizionare-desfacere; modelele funcției de producție; modelele funcției de personal și modelele funcției financiar-contabile, respectiv modelele de cost-eficiență și calitate.

După construirea modelelor matematice pe funcțiuni se încearcă rezolvarea lor pentru optimizarea soluției cu diverse metode cum ar fi: metode de căutare (aleatoare; unidirecționale; tip gradient); metode tip Lagrange și de penalizare; metode de optimizare directă (tip Zoutendijk; gradient proiectat); metode speciale (tip Pontreaghin, tip Bellman; tip utilitate). Metodele de căutare se aplică în cazul optimizărilor neliniare fără restricții. Metodele Lagrange, cele de penalizare și cele de optimizare directă se aplică în special la optimizări neliniare cu restricții. Metodele speciale se aplică în energetică la optimizarea cu precădere a proceselor secvențiale. Metoda de căutare aleatoare operează cu tehnica „Branch and Bound" de găsire a soluției optime în cazul proceselor multiextremale. Metodele de căutare unidirecționale determină direcțiile pentru care funcția de eficiență a modelului scade. În acest scop se operează cu tehnica relaxării. Metodele de gradient permit stabilirea direcției după care apar cele mai abrupte creșteri ale funcției de eficiență. Pe baza antigradientului (gradient cu semn schimbat) apare direcția cu cele mai rapide descreșteri ale funcționalei modelului matematic analizat. Unghiul dintre direcția după care trebuie să evolueze sistemul și viteza de variație a funcției dată de gradientul ei trebuie să fie mai mic de 90° pentru a se asigura descreșterea performanței cost a modelului cercetat. Descreșterea funcției de eficiență către minimum se face în pași prestabiliți. Dacă acești pași sînt prea mari atunci funcția se îndepărtează de optim iar dacă sînt prea mici atunci programul de optimizare implică un număr prea mare de iterații și reclamă un cost ridicat: Metodele de gradient se împart în trei clase și anume: metoda gradientului optimal (metoda Cauchy); metoda Fletcher-Reeves și tehnica gradienților conjugați care operează cu metoda Fletcher-Powell; metoda Davidon-Fletcher-Powell și metoda Rosen. Metoda Cauchy se recomandă pentru rezolvarea modelelor cu funcții de eficiență pătratice la care vitezele de con-

vergență sînt mari. Ea are dezavantajul că dă soluții cu oscilații în jurul punctului de optim pentru toate tipurile de suprafețe pe care evoluează sistemul, cu excepția hipersferelor, la care minimul se determină dintr-un singur pas, dacă funcțiile de eficiență a modelului nu prezintă un extrem excentric. În cazurile de minim excentric se utilizează metoda gradienților conjugați și în special metoda Fletcher-Reeves. Metoda Davidon-Fletcher-Powell este calea cea mai puternică de determinare a minimului local a unei funcții multivariabile. Dacă numărul de variabile ale modelului este mai mare ca 100 atunci economicitatea metodei Fletcher-Reeves este mai mare decît a metodei Davidon-Fletcher-Powel.

Optimizarea conducerii și organizării sistemelor de energie se poate realiza cu modelele liniare și neliniare, fără și cu restricții. Optimizările cu restricții (limitări) apar curent în practica proiectării-montajului și exploatării sistemelor de energie, fie sub forma programării convexe (funcție de eficiență și restricții convexe), fie sub forma programării pătratice (funcție de eficiența pătratică și restricții liniare) ; fie sub forma extremului cu legături (funcție de eficiența supusă la legături și restricții de tip egalitate ; fie sub forma funcțiilor de penalizare asociate cu restricții de tip inegalitate. Metodele de optimizare directă diferă de cele expuse anterior prin faptul că nu transformă problemele de optimizare cu restricții în probleme de optimizare fără restricții. Ele se bazează pe generalizarea direcțiilor admisibile și caută să apropie soluția problemei de direcția utilizabilă. În această idee metoda Zoutendijk selectează pe baza unui algoritm o direcție admisibilă și utilizabilă, conducînd la descreșterea funcției de eficiență a modelului pînă la atingerea minimului. Metoda gradientului proiectat se aplică la rezolvarea modelelor care operează cu funcții de eficiență convexe. Direcțiile admisibile se obțin în asemenea cazuri prin respectarea condițiilor Kuhn-Tucker și minimul global se determină cu eficiență operativă, dacă restricțiile sînt liniare. Optimizarea proceselor de conducere și organizare care se pot desfășura secvențial se face cu ajutorul modelelor Bellman, Pontreaghin și cost-actualizat. Modelele Bellman se construiesc pe baza teoremei de optimalitate care spune că o politică optimală este formată din subpolitici optimale și se rezolvă cu ajutorul programării dinamice. Modelele Pontreaghin se utilizează la construirea strategiei de conducere a sistemelor mari și operează cu funcții de performanță supuse extremului minim, ținînd cont de ecuația de transmitanță care descrie performanța fiecărei secvențe pe baza legăturilor dintre mărimile de intrare-ieșire și reacțiile inverse..

Ingineria sistemelor de energie vizează optimizarea și organizarea structurii și fluxului energetic pe baza unor decizii novatoare care să permită selectarea variantei cu cost minim. Pentru atingerea acestui deziderat se construiește modelul agregat ținînd cont de particularitățile sistemelor de energie care decurg din teoria generală a sistemelor și se clădește decizia în condiții concrete urmărindu-se creșterea utilității și funcționalității fiecărei părți componente ale sistemului cercetat. Riscurile care pot apărea la nivelul procesului de decizie sînt următoarele: risc de gradul I dacă se respinge o ipoteză cînd ea este adevărată, risc de gradul II dacă se acceptă o ipoteză cînd ea este falsă și risc de gradul III cînd se procedează la rezolvarea unor probleme false.

Ingineria deciziei are în vedere penetrarea teoriei optimizării sistemelor mari cu particularitățile sistemelor de energie în adoptarea soluției de conce-

pere și exploatare a instalațiilor energetice. La elaborarea soluției optime trebuie avut în vedere faptul că sistemul de energie are structură hibridă (discretă la nivelul proiectării, montajului și reparării instalațiilor și structură continuă la nivelul producerii, transportului și utilizării energiei). Sistemul de energie fiind un sistem mare se poate trata pe subsisteme distincte, pe două tipuri de structuri, iar în cadrul structurilor pe probleme ale funcțiilor acestuia. La abordarea problemelor de decizie un loc principal în setul de restricții a modelului îl au următoarele particularități ale sistemelor de energie: producția este cvasisimultană cu consumul de energie dar dezvoltarea producției (structura continuă) este condiționată de funcționalitatea structurii discrete; puterile și energiile fiind pozitive, injectează în model restricții de tip inegalitate ceea ce impune utilizarea unor anumite modele de optimizare; siguranța în funcționare a instalațiilor producătoare și consumatoare de energie se asigură prin respectarea strictă a indicatorilor de calitate a energiei, respectiv prin asigurarea rezervei de putere în sistem, ceea ce reclamă luarea în considerație la formularea deciziei a cibernetizării comenzilor în întregul sistem de energie; organizarea depozitelor de combustibil pentru evitarea penuriei, simultan cu crearea condițiilor de economisire a tuturor resurselor, atît la vîrful sistemului cît și în afara acestuia; problemele care apar la nivelul fiecărei centrale noi sînt greu de cuantificat mai ales cînd se urmărește aspectul calitativ al proceselor supuse optimizării ceea ce lărgește mult gama restricțiilor din cadrul modelelor matematice și le condiționează forma de egalitate sau de neegalitate între disponibil și necesar.

Pe baza acestor considerații de sinteză, cu putere de orientare s-a trecut, în lucrarea de față, la constituirea bazelor ingineriei conducerii, a ingineriei organizării și a ingineriei deciziei de la nivelul sistemelor de energie considerate sisteme mari cu reacție. Problemele sînt abordate în concepție sistemică cu ajutorul cercetării operaționale. Din structura modelelor matematice prezentate decurge concepția proiectării părții de conducere și a părții de organizare a unui sistem mare cu referire la sistemul românesc de energie. Partea de concepție reflectată în modele și metode de abordare a întregului proces de energie este completată cu o serie de aplicații care arată modul de realizare a soluției optime atît global cît și local în vederea proiectării, montajului și exploatării într-o nouă viziune a sistemului național de energie. Apropierea conceptiei de realitate se face prin abordarea fiecărei secvențe reale a proceselor energetice cu teoriile cercetării operaționale, în vederea selectării soluției cu economicitate maximă de resurse, cu efecte utile în creștere și cu costuri totale actualizate, în continuă scădere, pentru conceperea, exploatarea și dezvoltarea sistemului național de energie.

2. INGINERIA PROCESULUI DE CONDUCERE A SISTEMELOR DE ENERGIE

2.1. Formularea problemei

Ingineria procesului de conducere a sistemelor mari în categoria cărora intră sistemele de energie permite construirea strategiei de cercetare-proiectare; implementare — exploatare inclusiv dezvoltare atît a structurii sistemului și a fluxului care străbate obiectivul conceput cît și a schemei ierarhice de dirijare a întregii activități. Plecînd de la atributele conducerii concretizate în prevedere, organizare, coordonare, comandă și control și de la funcțiile unui sistem complex (cercetare-dezvoltare, producție, personal, comercială, financiar-contabilă) se poate concepe structura modelului agregat de conducere a sistemelor complexe, ținînd seama de următoarele idei:

— Conducerea trebuie realizată în schemă ierarhică cu trei nivele principale și anume: nivelul strategic-tactic *(st)*; nivelul operativ *(op)* și nivelul de urmărire-control *(uc)*.

— Ingineria conducerii sistemelor mari reclamă rezolvarea problemelor pe fiecare stadiu de evoluție a obiectivului și anume: cercetare-proiectare *(CP)*; construcții-montaj *(CM)* și exploatare-dezvoltare *(ED)*.

— Cercetarea problemei de conducere trebuie făcută în legătură directă cu subsistemele și modelele în care se împart sistemele mari. Astfel, pentru sistemele de energie, modelul agregat de conducere, trebuie să cuprindă cinci părți și anume: modelul resurselor; modelul centralelor; modelul lanțurilor energetice; modelul consumatorului de energie și modelul de interfață a sistemului cu mediul. Cercetările în conducere trebuie orientate cu precădere spre probleme fundamentale din care să rezulte aspectele cu caracter aplicativ.

— Structura cheltuielilor totale de conducere se concepe pe baza cercetării operaționale și conține: cheltuielile pentru aplicarea teoriei stocurilor (Z_s) și teoriei așteptării (Z_a); cheltuielile pentru aplicarea teoriei echipamentelor (Z_e) și teoriei ordonanțării (Z_{or}); cheltuieli pentru ingineria umană (Z_{im}) și prognoză (Z_{pr}); cheltuieli pentru aplicarea teoriei căutării (Z_{cat}) și a teoriei riscului (Z_{rs}); cheltuieli pentru ingineria și analiza valorii (Z_{iav}) inclusiv cheltuieli cu aplicarea teoriei deciziilor (Z_{dd}).

— Aplicarea concepției sistemice în conducere reclamă clădirea modelelor ingineriei procesului de conducere, a modelelor ingineriei procesului de organi-

zare și a modelelor ingineriei procesului de informare-analiză-decizie. Fiecare din modelele conducerii sistemice poate cuprinde modele în teoria catastrofelor, modele în teoria grafelor; modele în teoria conducerii ierarhice a activității, modele în teoria prognozei, căutării și riscului, modele ale ingineriei și analizei valorii și alte modele pentru problemele de bază ale activității din cadrul sistemului analizat.

2.2. **Concepția sistemică în conducerea energeticii**

Ritmul rapid de dezvoltare a producției și creșterea complexității obiectivelor reclamă găsirea unor căi noi de gîndire și abordare a proceselor, astfel ca în timp scurt să se obțină o producție de calitate, la nivelul prognozat de comanda socială. Această nouă orientare, în conceperea, realizarea și exploatarea instalațiilor preconizează tratarea globală a problemelor, astfel ca procesele industriale să fie prezentate într-o concepție integratoare, care să țină seama de toate implicațiile ce pot apărea în desfășurarea fenomenelor. Pe baza noii concepții de abordare a obiectivelor industriale, în general, și a celor energetice, în special, se pot prevedea riscurile generate în cadrul sau în afara proceselor cercetate, se pot formula măsuri atît pentru limitarea daunelor cît și pentru economisirea resurselor. Deci, prin eforturi de gîndire a problemei, încă din faza de concepție a obiectivului, se poate realiza o creștere a producției din aceeași cantitate de resurse. Construirea concepției de realizare a obiectivelor energetice trebuie să înceapă în faza de proiectare, să continue în faza de montaj și să se concretizeze în faza de exploatare a instalațiilor. Această cale de organizare a activității de proiectare-montaj și exploatare a obiectivelor energetice va permite transformarea conducerii sistemelor într-o problemă de concepție și va înlesni corelarea rațională a producției cu consumul de energie. Pentru aplicarea în practică a acestui mod de gîndire a problemelor energetice din cadrul unui ansamblu tehnologic este necesar ca acesta să fie împărțit în subsisteme, care prin intercondiționare reciprocă, formează un sistem integrat. Sistemul format intercondiționează cu mediul înconjurător și face schimb de informații, energie și resurse materiale, în ideea perfecționării stării sale prezente și pregătirii condițiilor de trecere, fără pierderi, la o nouă stare de funcționare. Pe baza concepției sistemice, trebuie să crească aportul muncii intelectuale la sporirea calității întregii activități. Astăzi nu se mai poate concepe soluționarea corespunzătoare a unei probleme fără a ține seama de toate laturile gîndirii științifice, de îmbinarea tuturor domeniilor cunoașterii într-un tot unitar [2].

Concepția sistemică are ca premize teoria sistemelor care operează cu concepte sistem-model, organizare-optimizare și o suită de modele integrate în ingineria sistemelor. Sistemul este un concept primar susceptibil de a fi definit cît mai complet, pe măsura dezvoltării teoriei și ingineriei sistemelor. Din sintetizarea definițiilor pe care le-au dat diverși autori conceptului de sistem, rezultă că sistemul trebuie să reprezinte un „tot" la care obiectele sale definesc „ceva" și sînt în interacțiune dinamică. Din definiție rezultă că pentru abordarea unui sistem de energie este necesar să se schimbe metoda

de gîndire în sensul trecerii de la abordarea analitic-sumativă la tratarea dinamico-integratoare a fenomenelor din structura internă și de la nivelele de interfață a sistemului cu mediul. Corelația conceptelor sistem-model trebuie înțeleasă în ideea că sistemul poate imprima modelului o formă cît mai integratoare a fenomenelor din structura sa și prin optimizare modelul modifică structura elementelor interne ale sistemului. Conceptul de organizare include noțiunea de integralitate, după care fiecare element este cauza și în același timp efectul stării altui element al aceluiași sistem. Sistemul sintetizează aceste conexiuni și le dă o formă de ordine, care implică conceptul de organizare. Organizarea presupune ordine și finalitate în realizarea acțiunilor declanșate prin decizii. Ordinea exprimă ideea de relație precisă între elementele unui sistem pe baza unor modele matematice. Stabilirea performanțelor funcțiilor de eficiență a modelelor se realizează prin optimizarea întregii activități din structura sistemului analizat. Conceptul de optimalitate vizează ordinea activității din cadrul unui sistem organizat astfel ca desfășurarea evenimentelor să se facă cu pierderi optime.

Pentru a înțelege conținutul dialectic al concepției sistemice vom sintetiza în cele ce urmează definițiile unor categorii filozofice privind: conexiunea generală și interdependența fenomenelor, sincronie și diacronie, dialectica raporturilor de cauzalitate și determinismul marxist. Prin conexiune generală se înțelege totalitatea legăturilor dintre fenomenele din univers, care alcătuiesc un întreg coerent și unitar în sincronia și diacronia proceselor reale. Sincronia redă o stare atemporală a sistemului în ideea cunoașterii corelațiilor sale invariante și a tipurilor de ierarhizări funcționale ale fenomenelor care definesc sistemul calitativ. Diacronia reconsideră fenomenele în dimensiunea lor temporală, în dinamica lor contradictorie, subliniind înnoirea continuă a structurii sistemului. Diacronia acordă prioritate procesualității subliniind evoluția calitativă și cantitativă a obiectelor din structura sistemului analizat. Dialectica raporturilor de cauzalitate are la bază corelația dintre cauză și efect în condițiile obiective care însoțesc dinamica proceselor reale. Cauzalitatea stă la baza concepției sistemice conform căreia cauzele interacționează în producerea efectelor iar efectele au un rol activ asupra cauzelor care le-au provocat. Între cauză și efect există atît raporturi de coexistență, cît și raporturi de continuitate, după care cauzele și efectele se împletesc dialectic în cadrul aceluiași lanț cauzal. Efectele conservă anumite trăsături calitative ale cauzelor care le generează. Relațiile dintre cauză și efect pot fi liniare și neliniare. Trecerea de la cauză la efect prin relații neliniare se realizează pe baza unor legi statistice care implică utilizarea conceptului de probabilitate. Astfel de corelații se modelează cu relații matematice probabiliste. Introducerea conceptului de lege statistică care reflectă adecvat unele procese aleatorii în cadrul cărora cauzele se corelează cu condițiile prin reacție inversă permite evitarea interpretărilor indeterministe în știință și tehnică. Determinismul în calitatea sa de concepție filosofică materialistă exclude orice dependență a fenomenelor din natură și societate de „liberul arbitru" și are la bază teza conexiunii după care între obiectele și fenomenele oricărui sistem complex există interacțiuni reciproce în ideea că fenomenele sînt generate de cauze și le influențează direct sau indirect contribuind la evoluția sistemului analizat.

Aceste idei cu care operează concepția sistemică se regăsesc în cadrul stărilor de concepere și funcționare ale sistemelor de energie. Un sistem de energie se poate ierarhiza în trei clase de subsisteme, care au legături directe (tehnico-economice) între surse și consumatori și legături inverse (informaționale) între consumatori și sursele de energie. Clasele de subsisteme din structura unui sistem de energie sînt: clasa subsistemelor generatoare de resurse primare (extracție, rafinare, transport); clasa subsistemelor de producere și transport a energiei (conversie, transport și distribuție) și clasa subsistemelor de consum de energie (consum industrial, agricol, casnic, transport). Schema logică a legăturilor dintre subsistemele sistemului de energie se poate urmări pe figura (2.1).

Conducerea unui asemenea sistem reclamă cele mai complete metode de modelare și optimizare a activității, atît pentru structura fiecărui subsistem, cît și pentru problemele de la nivelele de interfață a subsistemului cu mediu. Pentru realizarea acestui scop se organizează sistemul de energie în concepție sistemică, apoi se trece la optimizarea activității pe baza cercetării operaționale, după care se construiesc programe de calculator în vederea determinării indicatorilor tehnico-economici, care cuantifică și selectează, atît nivelul de siguranță dorit al instalațiilor cît și regimul lor economic în funcție de criteriul de eficiență preferat.

Realizarea conducerii optimale a unui sistem de energie, atît în concepție, cît și în execuție se poate fundamenta teoretic și practic în cadrul unei noi discipline denumită energocibernetică. Energocibernetica poate studia întreaga realitate energetică în permanentă schimbare, atît la nivel micro cît și la nivel macro pe baza conexiunilor directe și indirecte ce leagă producția de consumul de energie, cuantificînd corelațiile și intercondicționările ce caracterizează întreaga gamă de activități din structura sistemului de energie. Energocibernetica, plecînd de la teza materialist-dialectică, că subsistemele unui complex de energie nu evoluează izolat, pune în evidență schimbările din structura sistemului de energie, oricît de complex ar fi, cu ajutorul analizei sistemice ca metodă directă și eficientă de investigație a întregii activități energo-economice. Această analiză predetermină comportamentul și tendința de stabilitate dinamică a întregului sistem și asigură o evoluție dorită a sistemului cu ajutorul operațiilor de auto-reglare pe baza conexiunii inverse. Întrucît energetica contribuie direct la asigurarea unei creșteri echilibrate a economiei naționale în ideea realizării unor produse cu un consum mai mic de resurse în condițiile sporirii calității este necesar ca în abordarea globală a sistemului macroeconomic să se țină seama de restricțiile care apar la nivelul subsistemului energetic privind în special economia de energie ce trebuie realizată pe o perioadă de timp de lungă perspectivă. În această idee energocibernetica realizează la nivelul sistemului de energie aceleași clase de funcții ca și cibernetica industrială și cea economică la nivelul întregii economii. Sarcinile acestor discipline după unii autori [3] [6] [4] [8] constau în: abordarea fenomenelor și proceselor la nivelul subsistemelor din cadrul economiei naționale în concepție sistemică, identificarea părților componente ale sistemului general, precizarea mulțimii de vectori de intrare și ieșire din fiecare subsistem, predeterminarea legăturilor tehnologice și informaționale ce se formează între ele, formularea condițiilor care înlesnesc construirea dinamicii de comportare a întregului

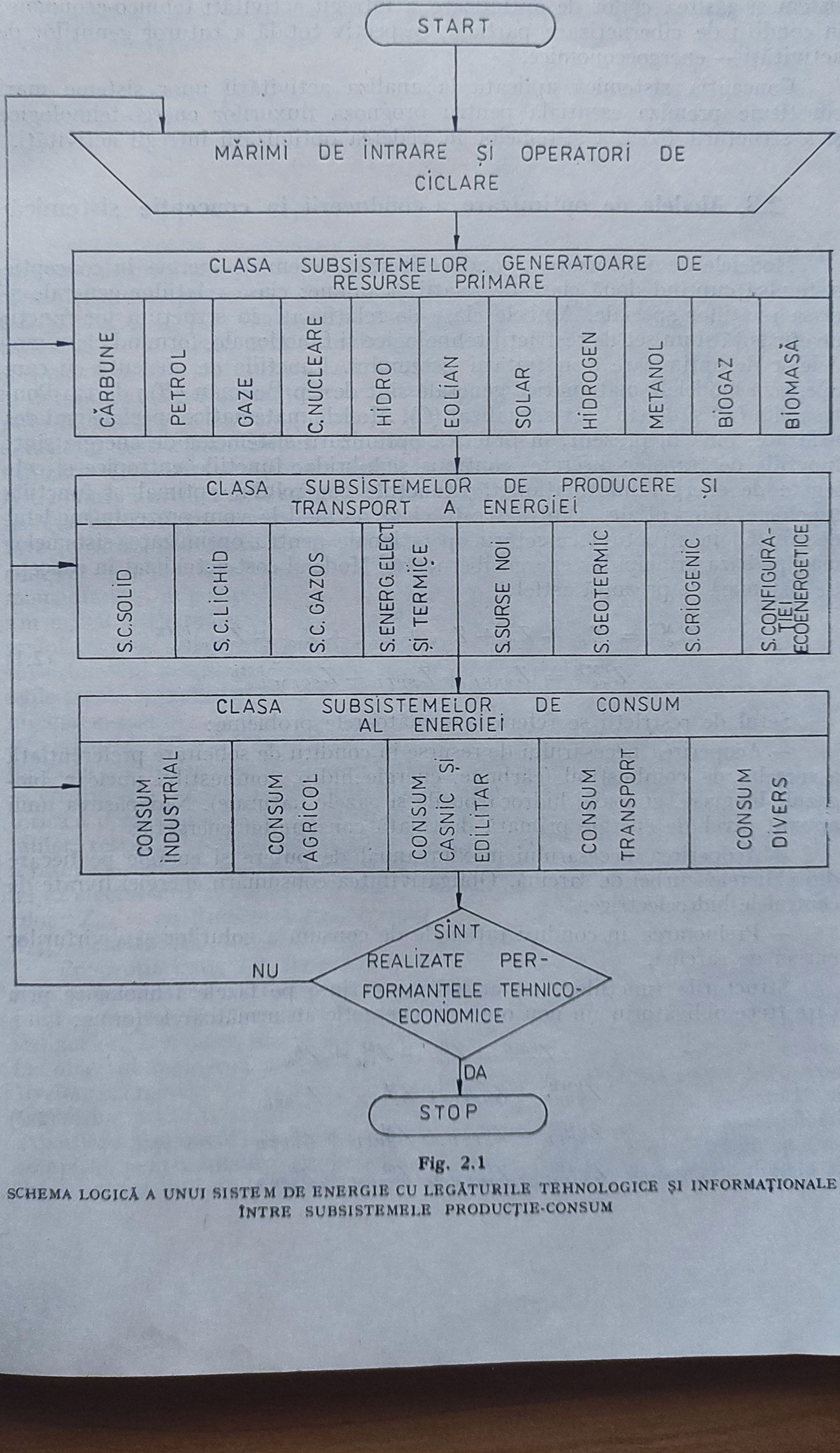


Fig. 2.1

SCHEMA LOGICĂ A UNUI SISTEM DE ENERGIE CU LEGĂTURILE TEHNOLOGICE ȘI INFORMAȚIONALE ÎNTRE SUBSISTEMELE PRODUCȚIE-CONSUM

sistem și găsirea căilor de optimizare a întregii activități tehnico-economice în condiții de cibernetizare parțială, respectiv totală a tuturor genurilor de activități — energoeconomice.

Concepția sistemică aplicată la analiza activității unor sisteme mari constituie premiza esențială pentru prognoza fluxurilor energo-tehnologice și a structurii fizice a sistemelor în vederea optimizării întregii activități.

2.3. Modele de optimizare a conducerii în concepție sistemică

Modelele de optimizare a conducerii unui sistem de energie în concepție sistemică cuprind două clase de relații și anume: clasa relațiilor generale și clasa relațiilor speciale. Ambele clase de relații au în structura lor funcții de eficiență și un set de restricții tehnologice și funcționale, formînd clasa modelelor de optimizare a activității sistemului. Funcțiile de eficiență cu care operează modelele matematice generale sînt de tip Bellman (B); de tip Pontreaghin (P) și de tip Cost-actualizat (C). Modele matematice speciale mai des utilizate, pînă în prezent, în practica optimizării sistemelor de energie sînt: funcțiile de transfer discrete, continue și hibride; funcțiile entropice și cele legate de energia informațională; funcțiile controlului optimal și funcțiile topologiei diferențiale. Dintre aceste clase de modele vom prezenta modelul de tip (C) în structura cercetării operaționale pentru optimizarea sistemelor mari pe baza principiilor energocibernetici. Modelul cost-actualizat în concepție sistemică se prezintă astfel:

$$Z_{tac}^{PME} = [Z_{pz} + Z_m + Z_{ech} + Z_{con} + Z_{col} + Z_{dnp}]_{tac}^{PME}$$
$$Z_{tac}^{PME} = [Z_{SREP} + Z_{SPTD} + Z_{SCEM}]_{tac}^{PME} \qquad (2.1)$$

Setul de restricții se referă la următoarele probleme:

— Acoperirea necesarului de resurse în condiții de solicitare preferențiată a surselor de combustibil (cărbune, energie hidro, combustibil nuclear, biogazul, biomasa, gunoaie, hidrocarburile și gazele naturale). Nedepășirea unui anumit nivel de energie primară destinată consumului energetic.

— Acoperirea necesarului maxim anual de putere și energie pe fiecare din palierele curbei de sarcină. Obligativitatea consumării energiei livrate de centralele hidroelectrice.

— Prelucrarea în condiții raționale de consum a golurilor și a vîrfurilor curbei de sarcină.

Structurile funcțiilor cost-actualizat extinse pe fazele tehnologice prin care trece obligatoriu un nou obiectiv energetic au următoarele forme:

$$Z_{tac}^{PME} = Z_{tac}^{P} + Z_{tac}^{M} + Z_{tac}^{E}$$
$$Z_{SREP}^{PME} = Z_{SREP}^{P} + Z_{SREP}^{M} + Z_{SREP}^{E} \qquad (2\text{-}2)$$
$$Z_{SPTD}^{PME} = Z_{SPTD}^{P} + Z_{SPTD}^{M} + Z_{SPTD}^{E}$$
$$Z_{SCEM}^{PME} = Z_{SCEM}^{P} + Z_{SCEM}^{M} + Z_{SCEM}^{E}$$

Elementele de structură ale funcției de eficiență (Z_{tac}^{PME}) pe baza teoriilor cercetării operaționale se pot scrie sub forma:

$$Z_{tac}^{PME} = \left[\sum_{i=1}^{n}(1+p_n)^{-i}(I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac}\right] \tag{2-3}$$

$$Z_{ac}^{tME} = [Z_s + Z_a + Z_e + Z_{or} + Z_{im} + Z_{pr} + Z_{cat} + Z_{rs} + Z_{iav} + Z_{dd}]_{tac}^{PME}$$

Fiecare funcție de eficiență din structura relațiilor (2-1-3) se poate scrie pe baza teoriilor cercetării operaționale (stocuri și așteptare: Z_s, Z_a; echipamente și ordonanțare: Z_e; Z_{or}; ingineria umană și prognoză: Z_{im}; Z_{pr}; căutare și risc: Z_{cat}; Z_{rs}; inginerie și analiza valorii și teoria deciziei: Z_{iav}; Z_{dd}) ținînd cont de fazele prin care trece sistemul: proiectare (P), montaj (M) și exploatare (E). Optimizarea activității la nivelul sistemului de energie constă în determinarea performanțelor tehnico-economice ale instalațiilor noi concepute în condiții de extrem (minim) a funcției de eficiență cu luarea în considerație a restricțiilor impuse de corelația sistemului cu mediul. Avantajul utilizării cercetării operaționale constă în principal în surprinderea comportării sistemului la nivelul fiecărui gen de activitate și determinarea căilor operaționale de cuantificare a regimurilor de funcționare pentru subsistemele delimitate în cadrul sistemului cu scopul agregării cauzelor și efectelor într-un model complet în ideea determinării variantei optime de soluționare a comportării momentane și în perspectivă ale întregului sistem. În relațiile anterioare intervin următoarele mărimi: Z_{SREP} = cheltuielile totale actualizate ale subsistemului resurse energetice primare; Z_{SPTD} = cheltuielile totale actualizate ale subsistemului producție, transport și distribuție a energiei; Z_{SCEM} = cheltuielile totale actualizate ale subsistemului consumator de energie și al interacțiunii sistem-mediu; I_i; C_i; D_i; V_i = investițiile (I_i); cheltuielile de producție (C_i); daunele (D_i) și Veniturile (V_i); R_{tac} = valoarea remanentă totală actualizată în diverse momente de analize a instalației energetice concepute; Z_{pz} = = cheltuielile totale propriu-zise pentru conceperea tehnologică și organizatorică a obiectivului nou; Z_m = cheltuielile totale pentru procurarea combustibililor, respectiv pentru deschiderea minelor și sondelor ca surse de generare a resurselor energetice; Z_{ech} = cheltuielile totale de echivalare a soluțiilor astfel ca efectul util al variantelor comparate să fie același la nivelul consumatorilor; Z_{con} = cheltuielile totale conexe; Z_{col} = cheltuielile totale colaterale; Z_{dnp} = cheltuielile totale diverse și neprevăzute.

Concepția sistemică, modelarea activității în structura cercetării operaționale și construirea softurilor pentru conducerea eficientă a proiectării-montajului și exploatării obiectivelor industriale constituie sîmburele ingineriei sistemelor. Din acest motiv după expunerea mai în detaliu a problemelor ce fac obiectul ingineriei sistemelor se va prezenta concepția conducerii obiectivelor energetice pe baza cercetării operaționale. Problematica ingineriei sistemelor poate fi exprimată sintetic prin conceptele „gîndire sistemică" și „abordare sistemică". Ingineria sistemelor operează cu tehnici și metodologii complexe pentru analiza, proiectarea și realizarea sistemelor. Cînd un specialist se ocupă mai mult de structură, de conexiuni, de comportare globală și

mai puțin de fizica componentelor se spune că el face inginerie de sisteme. După A. D. Hall ingineria sistemelor se definește ca modalitatea prin care se scurtează timpul dintre descoperirile științifice și aplicarea lor, dintre apariția unei necesități sociale și producerea de sisteme care să satisfacă noile cerințe. Deci ingineria sistemelor se ocupă de modalitățile de construire a deciziilor în ideea găsirii celei mai raționale și rapide soluții de realizare a obiectivelor social-economice. Prin aplicarea ingineriei sistemelor la soluționarea problemelor de cercetare, proiectare, montaj și exploatare a obiectivelor se previn greșelile din etapa de elaborare a soluțiilor și se construiește decizia de concepere și realizare a obiectivelor la performanțele dorite cu costuri minime.

Modelarea conducerii energeticii de sistem se poate realiza cu ajutorul cercetării operaționale. Modelele matematice cu largi aplicații în conducerea sistemelor de energie sînt cele legate de cheltuielile totale actualizate și pot fi scrise astfel:

$$Z_{tac}^{cg} = (Z_{tac}^{cse} + Z_{tac}^{ose} + Z_{tac}^{ise} + Z_{tac}^{ase} + Z_{tac}^{dse});$$

$$Z_{tac}^{cse} = Z_{tac}^{ingc} = \left[\sum_i (1 + \not{p}_n)^{-i} (I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac}\right];$$

$$Z_{tac_1}^{ing} = (Z_{tac}^{cfp} + Z_{tac}^{tgc} + Z_{tac}^{tcg} + Z_{ta\circ}^{pr} + Z_{tac}^{iav});$$

$$Z_{tac_2}^{ing} = (Z_{ing_c}^{st} + Z_{ing_c}^{op} + Z_{ing_c}^{uc}) = [Z_{ing_c}^{CP} + Z_{ing_c}^{CM} + Z_{ing_c}^{ED}]_{COP}^{st(op)\,(uc)}$$

$$Z_{tac_3}^{ing_c} = [Z_{SR} + Z_{CE} + Z_{LE} + Z_{CO} + Z_{IP}]_{cop}^{PME}$$

$$Z_{ing_c}^{st} = [(Z_s + Z_a)^{st} + (Z_e + Z_{or})^{st} + (Z_{im} + Z_{pr})^{st} + (Z_{cat} + Z_{rs})^{st} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{st}]; \quad (2\text{-}4)$$

$$Z_{ing_c}^{op} = [(Z_s + Z_a)^{op} + (Z_e + Z_{or})^{op} + (Z_{im} + Z_{pr})^{op} + (Z_{cat} + Z_{rs})^{op} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{op}];$$

$$Z_{ing_c}^{uc} = [(Z_s + Z_a)^{uc} + (Z_e + Z_{or})^{uc} + (Z_{im} + Z_{pr})^{uc} + (Z_{cat} + Z_{rs})^{uc} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{uc}];$$

$$Z_{ing_c}^{op} = (Z_{cop}^{c} + Z_{cop}^{p}) = (Z_{cop}^{co} + Z_{cop}^{op} + Z_{cop}^{rs})$$

$$Z_{ing_c}^{cmed} = (Z_{cop}^{cm} + Z_{cop}^{ced}) = (Z_{cop}^{os} + Z_{cop}^{co} + Z_{cop}^{pt} + Z_{cop}^{e} + Z_{c}^{d})$$

Restricțiile tehnologico-organizatorice și cele funcționale se formează pentru fiecare problemă în parte la nivelele de decizie impuse de conducerea ierarhică a întregului sistem.

În funcțiile de eficiență (2-4) intervin următoarele mărimi: Z_{tac}^{cg} = cheltuielile totale actualizate pentru conducerea generală a sistemelor; Z_{tac}^{cse} = = cheltuielile totale actualizate pentru conducerea specială a sistemelor de energie (*cse*); Z_{tac}^{ose} = cheltuielile totale actualizate pentru organizarea sistemelor de energie (*ose*); Z_{tac}^{ise} = cheltuielile totale actualizate pentru informatica sistemelor de energie (*ise*); Z_{tac}^{ase} = cheltuielile totale actualizate pentru analiza-diagnostic a sistemelor de energie; Z_{tac}^{dse} = cheltuielile totale actualizate pentru realizarea deciziei optime la nivelul sistemelor de energie; $Z_{tac}^{ing_c}$ = cheltuielile totale actualizate pentru ingineria procesului de conducere; $Z_{tac_{(1)}}^{ing_c}$ = = cheltuielile totale actualizate pentru ingineria procesului de conducere pe principalele probleme care apar în conducere: cercetări fundamentale Z_{tac}^{cfp}); teoria grafelor de conducere (Z_{tac}^{tgc}); teoria generală a conducerii; (Z_{tac}^{tgc}); teoria căutare prognoză-risc (Z_{tac}^{cpr}); ingineria și analiza valorii (Z_{tae}^{iav}); $Z_{tac_{(2)}}^{ing_c}$ = cheltuielile totale actualizate pe cele trei nivele de conducere și anume: nivel strategic-tactic ($Z_{ing_c}^{st}$); nivel operativ (Z_{ing}^{op}); nivel de urmărire-control (Z_{ing}^{uc}) extinse la stadiul cercetării proiectării (CP); stadiul de construcții-montaj (CM) și stadiul exploatării-dezvoltării (ED). Fiecare dintre aceste funcții se poate scrie în detaliu pe baza teoriilor cercetării operaționale; $Z_{tac_{(3)}}^{ing_c}$ = = cheltuielile totale actualizate pe cele cinci subsisteme ale unui sistem de energie: subsistemul resurse energetice (Z_{SR}); subsistemul centrale electrice (Z_{CE}); subsistemul lanțurilor energetice ce leagă sursa de consumator (Z_{LE}); subsistemul consumatorilor de energie (Z_{CO}) și subsistemul legăturilor obiectivului proiectat cu mediu în care va funcționa (Z_{IP}); $Z_{ing_c}^{CP}$ = cheltuielile totale actualizate pentru cercetarea și proiectarea sistemelor de energie în structura cercetării operaționale formată din cheltuieli pentru stocuri și așteptare ($Z_s + Z_a$); cheltuieli pentru echipamente și ordonanțare ($Z_e + Z_{or}$); cheltuieli pentru ingineria umană și prognoza ($Z_{im} + Z_{pr}$); cheltuieli pentru căutare-risc ($Z_{cat} + Z_{rs}$); cheltuieli pentru ingineria valorii și decizie ($Z_{iav} + + Z_{dd}$); Z_{cop}^{cc}; Z_{cop}^{cp}; Z_{cop}^{rs} = cheltuielile totale actualizate în structura cercetării operaționale (*coț*) pentru conducerea cercetării(*cc*); pentru conducerea proiectării (*cț*) și pentru preluarea riscului (*rs*); $Z_{ing_c}^{cmed}$ = cheltuieli totale actualizate pentru conducerea montajului (*cm*) și a exploatării-dezvoltării obiectivelor concepute (*ed*) formate din cheltuieli pentru organizarea șantierului (*oș*), pentru conducerea obiectivului (*co*), pentru probe tehnologice (*țt*) și pentru exploatare-dezvoltare (*e*) (*d*).

Extinderea acestei concepții la conducerea sistemelor de energie reclamă cunoașterea atît a structurilor cît și a fluxurilor energetice la nivel mondial și la nivelul ramurii energiei electrice și termice din țara noastră în ideea construirii strategiei de concepere și realizare a noilor obiective precum și pentru determinarea celor mai eficiente soluții de exploatare a întregului sistem.

2.4. Strategia conducerii ramurii energetice

2.4.1. Aspecte fenomenologice ale structurii și fluxului energetic

Ramura energiei electrice și termice (REET) precum și întreprinderile energetice din structura ei sînt sisteme cibernetice de producție, întrucît la analiza lor se regăsesc proprietățile sistemelor generale și ale sistemelor ciber-

netice. Comportarea acestor ansambluri energetice se poate deduce atît pe baza studierii corelațiilor dintre mărimile de ieșire și cele de intrare ale „cutiei negre" care le modelează activitatea și le reglează regimul de funcționare cu ajutorul reacției inverse, cît și prin analiza structurală a elementelor ce compun sistemul și prin care trec în timp, purtătorii de energie de la surse la consumatori. În acest context este necesar să se prezinte situația energetică mondială și cea națională și să se scoată în evidență, pe bază de bilanț, nivelele de organizare și conducere ale sistemelor de energie (mondial și național) cu scopul precizării structurii balanței naționale de energie și a ridicării performanțelor lanțurilor energetice, așa fel încît să crească efectele utile ale energiei totale consumate și să se evite efectele nedorite ale crizei energetice mondiale. Aceste deziderate se pot realiza printr-un efort susținut de conducere pe baza unor principii și metode moderne și a unei organizări raționale aplicate, în conformitate cu legislația în vigoare, la sistemul românesc de energie.

Analiza dezvoltării energeticii pe plan mondial și în țara noastră trebuie făcută, ținînd cont de gradul de dezvoltare a consumului rațional de energie și de modul eficient de acoperire a acestuia, de dezvoltare a bazei energetice atît din punct de vedere al elementelor de structură cît și din punct de vedere al purtătorilor de energie în vederea ridicării performanțelor instalațiilor energetice în condiții de siguranță și economicitate. Una din căile de dirijare eficientă și de organizare rațională a sistemelor de energie (mondiale și naționale) constă în colaborarea bilanțurilor energetice și determinarea structurii lor optimale pe baza ingineriei conducerii. În această idee se vor prezenta în cele ce urmează atît structura resurselor energetice pe plan mondial și în țara noastră în perspectiva dezvoltării sistemelor energetice cît și modalitățile de organizare și conducere a energeticii românești, așa fel încît la sfîrșitul actualului decenal România să devină independentă din punct de vedere al combustibilului și energiei.

Întreaga dezvoltare a societății este strîns legată de energetică, deoarece aceasta condiționează progresul și dezvoltarea tuturor activităților. Societatea modernă cu întreaga ei structură (socială, economică, tehnică) nu se poate dezvolta în ritm susținut decît pe o bază energetică riguroasă. Totodată se pune problema ca resursele energetice pe care le are globul să fie valorificate cu maximă eficiență, concomitent cu descoperirea și punerea în practică a resurselor energetice noi. Aceste cerințe se pot realiza numai printr-o cooperare internațională fără condiții politice și pe baza unor înțelegeri reciproce între statele producătoare și cele consumatoare de energie. Practica arată că în condițiile actuale ale producției moderne consumurile au început să depășească disponibilități de resurse ceea ce poate influența dezvoltarea sistemelor. Evenimentele care au marcat criza energetică din 1973 au arătat că problemele producerii și utilizării cît mai eficiente a resurselor sînt încă departe de-a fi rezolvate. Numai după declanșarea crizei energetice multe state și-au pus problema concepției de dezvoltare a economiilor naționale ținînd seama în principal de problema energiei. Această reconsiderare a problemei dezvoltării, plecînd de la teoriile care propovăduiau „creșterea zero" și pînă la cele care au dus la restructurarea industriilor respective a tehnologiilor în ideea realizării unor consumuri de energie cît mai mici, aveau la bază atît datele privind limitele de existență a resurselor energetice clasice, cît și perspectiva de scum-

pire a resurselor energetice peste așteptări. Astfel, în ritmul actual al consumului de resurse, rezervele de petrol și gaze se vor epuiza probabil în cel mult 50 de ani, iar cele de cărbune în circa 150 de ani. Pentru a depăși aceste situații controversate, privind surprizele pe care le poate genera energetica, diverse țări au elaborat studii care au condus la aplicarea unei politici de economisire a tuturor formelor de energie. Economisirea se poate face în principal prin perfecționarea tehnologiilor atît la nivelul de pregătire a resurselor energetice cît și la nivelul instalațiilor de producere și utilizare a tuturor formelor de energie. Pentru ca planul de economisire să fie eficient trebuie ca resursele să fie cunoscute și exploatate în condiții avantajoase. Exploatarea trebuie făcută rațional, astfel ca poluarea mediului și costul să fie cît mai mici cu putință.

Una din căile de economisire complexă a energiei constă în corelarea consumurilor cu resursele în cadrul bilanțurilor energetice. Bilanțul energetic pune în evidență pe de o parte disponibilul de resurse și înlesnește pe de altă parte corelarea acestuia cu necesarul. Pe baza acestei cercetări se poate cunoaște deficitul, respectiv excedentul de resurse la nivelul întregului ansamblu analizat. Concluziile bilanțului de resurse se pot folosi la fundamentarea strategiilor de dezvoltare a economiei. Bilanțul energetic ca bază a dezvoltării unui sistem complex se poate elabora în concepție sistemică plecîndu-se de la utilajele consumatoare de energie pînă la nivelul ramurilor industriale și apoi pînă la nivelul întregii economii. El se elaborează pe purtători de energie și global. Se poate realiza ca bilanț de perspectivă și ca bilanț momentan. În ambele situații se elaborează bilanțuri reale și optime atît pentru energie electrică și căldură cît și pentru combustibil. În actuala conjunctură energetică este necesar să se perfecționeze metodele de elaborare a bilanțurilor și să se treacă la optimizarea structurii sale. În acest scop trebuie rezolvate o serie de probleme cum ar fi: oportunitatea atragerii de noi resurse energetice în cadrul economiei; alegerea sistemelor de încălzire; selecționarea mijloacelor de transport de toate tipurile, perfecționarea parametrilor tehnico-economici ai producerii transportului, transformării și utilizării energiei și combustibilului. Bilanțurile energetice înlesnesc corelarea consumurilor cu resursele, scot în evidență pierderile de energie și cauzele care le determină și înlesnesc găsirea unei soluții raționale de folosire a energiei în procesul de producție. Totodată se pun în evidență căile de folosire a resurselor energetice secundare care sînt generate în cadrul proceselor analizate. Analiza proceselor energetice, pentru care se elaborează bilanțurile, permite găsirea celor mai eficiente metode de creștere a energiei utile și de reducere a pierderilor. Pe această cale orice situație energetică reală poate fi transformată într-o situație energetică optimizată. Dinamica bilanțurilor energetice evidențiază atît creșterile de randament ale elementelor de structură din cadrul lanțurilor energetice analizate, cît și eficiența valorificării resurselor de energie. În același timp se pot cunoaște cantitățile de resurse necesare și cele disponibile pe baza inventarului reclamat de bilanț. Calitatea resurselor și a exploatării lanțurilor energetice, care leagă sursa de consumator influențează direct efectul util al acțiunii. Din aceste motive în continuare se va prezenta atît situația resurselor energetice mondiale cît și a celor din R.S.R. subliniindu-se modul de reflectare a acestor resurse în bilanțuri energetice anuale și în cele de perspectivă.

Situația resurselor energetice mondiale, după cei mai mulți autori, se prezintă astfel: rezervele de cărbune se cifrează la circa 80 Q; cele de gaze și petrol la circa 7 Q; cele de energie hidraulică la circa 8 Q anual, sursele neconvenționale (energie solară, eoliană, geotermică și mariomotrică) la circa 1,1 Q pe an; rezervele de uraniu ating cifra de 1 700 Q din care 200 Q reprezintă pierderi la extragere și pregătirea purtătorului de energie; rezervele de thoriu se cifrează la 70 Q, iar cele de hidrogen la peste $18 \cdot 10^6$ Q, ($Q = 2{,}92 \cdot 10^{14}$ kWh). Resursele energetice clasice inclusiv energia hidraulică se pot exploata în condiții economice la circa jumătate din valoarea lor totală. Este de așteptat ca resursele energetice să crească cantitativ pe baza descoperirii a noi rezerve și calitativ prin înnobilarea lor pe baza noilor cercetări energetice. Din statistica mondială rezultă că resursele care sînt cuprinse în balanța energetică mondială (tabelul 2-1) sînt folosite astfel: (33 ... 49)% consum productiv și (67 ... 51)% consum neproductiv.

TABELUL 2.1

Balanța energetică mondială la nivelul anului 2000

	BM
— Cărbuni și derivații	20,9%
— Petrolul	35,8%
— Gazele naturale	18,1%
— Energia nucleară	18,9%
— Energia hidraulică	4,4%
— Energia solară — Bioenergia — Energia geotermică — Energia eoliană	1,9%
	100 %

Luînd în considerație că în țara noastră consumul productiv este de circa 33% iar pe plan mondial în unele țări dezvoltate industrial acesta variază între (44 ... 49)% este necesar un efort de conducere a ramurii energiei electrice și termice pentru îmbunătățirea atît a structurii sistemului național de energie cît și a fluxului energetic dintre producere și consum.

Premizele conducerii ramurii și întreprinderilor energetice constau în îmbunătățirea concepției de organizare pe funcțiuni a sistemului energetic atît la nivel strategico-tactic cît și la nivelul de urmărire-control. Astfel ramura energiei electrice și termice este înzestrată cu structuri de conducere clasice și moderne care sînt exploatate rațional atît la nivelul ministerului economic de resort, inclusiv la nivelul centralelor industriale de producere și transport a energiei cît și la nivelul întreprinderilor care conduc sau sînt conduse într-o concepție unitară la nivelul întregului sistem. Eficiența conducerii constă atît în dezvoltarea rațională a structurii sistemului cît și în îmbunătățirea bilanțului energetic de perspectivă.

Conform noilor orientări [2] sarcinile energeticii românești pînă în anul 2000 urmăresc rezolvarea următoarelor probleme:

Aprofundarea cercetării energetice pentru dezvoltarea potențialului energetic național prin identificarea și introducerea în circuitul economic a noi rezerve de combustibil simultan cu elaborarea unor noi tehnologii pentru valorificarea integrală a resurselor exploatate. Astfel se va trece la teledetecția unor noi zăcăminte, în special a celor de uraniu și la gazeificarea cărbunelui din zonele greu accesibile mineritului. Prospecțiunile geologice se vor extinde și intensifica pentru mărirea cantității și calității hidrocarburilor și gazelor extrase și se va trece la captări masive ale resurselor geotermale, eoliene, heliotermice, biomasice și a biogazului.

Dezvoltarea producției de energie se va face prin extinderea de hidrocentrale mari și mici; realizarea unor centrale nuclearo-electrice; construirea unor centrale noi de termoficare; realizarea unor centrale electrice pe bază de cărbune inferior și șisturi bituminoase precum și extinderea instalațiilor de producere a energiei cu ajutorul surselor heliotermice; eoliene; geotermale. Astfel potențialul hidroenergetic al țării de (36 ... 40) TWh va fi complet amenajat în jurul anului 2000 din care circa 65% va fi pus în funcțiune pînă în 1990. Centralele hidroelectrice de pe rîurile interioare și cele de pe Dunăre se vor realiza în cascadă permițînd amenajarea complexă a rîurilor (producerea energiei; piscicultură; irigații; prevenirea inundațiilor; transport; utilizări industriale, agrement etc.). Lucrările hidroenergetice de mare complexitate se vor realiza în condiții de păstrare a calității apei și de respectare a ecologiei mediului. O nouă tehnologie de valorificare a surselor hidraulice constă în captarea energiei valurilor ce va fi aplicată pe litoralul românesc al Mării Negre pînă în 1990. Programul de valorificare a energiei hidraulice din țara noastră prevede realizarea a 525 microhidrocentrale pînă în 1988. În centralele hidroelectrice mari se va instala în aceeași perioadă o putere de peste 2500 MW. Energetica nucleară va cunoaște o dezvoltare intensivă prin construirea pînă în anul 1995 a unor centrale cu o putere de peste 9600 MW distribuită în trei mari unități cu putere de 3300 MW fiecare echipate cu grupuri de 660 MW. Echipamentul nuclear energetic se va realiza pe cît posibil în concepție proprie într-un ritm accelerat impus de necesitățile dezvoltării energeticii nucleare din țara noastră. Prepararea combustibilului și producerea apei grele se vor realiza în țară simultan cu valorificarea uraniului în reactoare energetice. Ponderea producției de energie pe baze nucleare în balanța energetică a anului 1990 va fi de peste 22,5%. Construcția de centrale electrice de termoficare va fi mult extinsă pînă în anul 2000 pe baza utilizării combustibililor inferiori (lignit și șisturi bituminoase). Astfel la nivelul anului 1990 puterea instalată în centrale electrice pe cărbune va fi de 10 000 MW. Ponderea tuturor centralelor cu combustibil inferior la nivelul anului 1990 în balanța energetică a țării va fi de 44%. Simultan cu acest program se prevede reducerea ponderii centralelor electrice alimentate cu hidrocarburi la circa 5% în balanța eneregtică națională din anul 1990. Combustibilii superiori (petrol și gaze) se vor utiliza în alte ramuri ale economiei naționale unde se realizează efecte utile superioare celor din energetică. Punerea în valoare a noilor surse de cărbune se va intensifica astfel ca pînă în 1988 fondul total de consum și cel de rezervă să ajungă la 425 106 tone. Acest ritm va crește în perioada (1988 ... 1990).

Îmbunătățirea bilanțului energetic național de perspectivă se face prin proiectarea rațională a instalațiilor energetice, montajul economicos al obiectivelor energetice, exploatarea optimă a tuturor agregatelor și instalațiilor de producere, transport și utilizare a energiei. Aceste măsuri urmăresc micșorarea cantității de energie înglobate în noile produse energetice și neenergetice, simultan cu creșterea performanțelor tuturor instalațiilor și se referă în principal la următoarelor probleme: îmbunătățirea randamentelor, producerea simultană a energiei electrice și termice în centrale electrice de termoficare, utilizarea rațională a combustibililor; introducerea unor noi tehnologii în vederea reducerii consumurilor specifice și a celor proprii tehnologice pe întregul lanț energetic producție-consum. O atenție deosebită se va acorda cercetării purtătorilor de energie existenți în scopul măririi puterii lor calorifice inferioare simultan cu introducerea unor noi purtători. Astfel se studiază transformarea bioxidului de carbon și a biomasei în combustibil energetic, se va intensifica producția de biogaz și se vor introduce în balanța energetică a țării în prim plan uraniul și hidrogenul ca noi purtători de energie. Totodată se va trece la implementarea unui program de folosire extensivă și intensivă a resurselor geotermale, a resurselor energetice ale valurilor Mării Negre; a resurselor heliotermice și a celor eoliene. Un accent deosebit se va pune pe creșterea cantității extrase de hidrocarburi și cărbune. La nivelul sistemului energetic național se vor introduce structuri noi tehnologico-funcționale în ideea alimentării consumatorilor în condiții de siguranță sporită și înaltă economicitate simultan cu gospodărirea judicioasă a tuturor formelor de energie consumată. Folosirea șisturilor bituminoase se va realiza prin intermediul centralei termoelectrice Anina de 3×330 MW și CTE-Doman. Realizarea grupurilor energetice pe baza resurselor heliotermice, eoliene și geotermale va fi extinsă în toate regiunile țării unde sînt condițiile adecvate exploatării unor astfel de instalații. Ponderea acestor surse inclusiv biogazul, biomasa, hidrogenul și altele va fi la nivelul balanței energetice din anul 1990 de 4,7% ceea ce echivalează cu o cantitate de combustibil de $(7 \ldots 10) \cdot 10^6$ tone c.c. degrevată din cadrul resurselor clasice [1] [2] [4].

Îmbunătățirea conducerii, organizării și funcționării sistemului energetic național reclamă rezolvarea pînă în anul 1990 a următoarelor probleme: creșterea puterii instalate la circa 34 000 MW, realizarea unei producții de energie de 101,7 TWh cu respectarea parametrilor de calitate și îmbunătățirea structurii balanței energetice a țării. Structura producției de energiei electrică în procente la nivelul anilor 1985; 1990 și 2000 se dă astfel:

	1985	1990	2000
— Producția totală de energie electrică	100%	100%	100%
— Producția în centrale hidroelectrice	22,2%	24%	25%
— Producția în centrale nuclearoelectrice	—	22,7%	25%
— Producția în centrale pe cărbune și șisturi	47,5%	44%	40%

	1985	1990	2000
— Producția în centrale pe hidrocarburi	24,3%	4,6%	—
— Producția din surse energetice recuperabile	2,2%	4,7%	10%
— Autopurtători	3,8%	—	—

Îmbunătățirea conducerii, organizării și funcționării sistemului energetic național trebuie realizată sistemic începînd cu cercetarea-proiectarea-montajul și continuînd cu exploatarea judicioasă a tuturor instalațiilor. În vederea realizării acestui scop este necesar să se rezolve încă în acest deceniu următoarele probleme: sporirea aportului cercetării și proiectării la rezolvarea problemelor de concepție privind conducerea și organizarea noilor obiective planificate atît sub aspect strategico-tactic cît și sub aspect operațional de urmărire-control; întărirea capacității întreprinderilor de montaj pentru realizarea la timp și cu eficiență sporită a obiectivelor programate; îmbunătățirea exploatării unităților energetice atît din punct de vedere tehnologic cît și al pregătirii cadrelor în ideea determinării condițiilor de extindere a calculatoarelor de proces pe întregul lanț energetic producție-consum de energie. În vederea creșterii producției de energie în centrale pe cărbune trebuie rezolvate o serie de probleme ca: ridicarea nivelului de exploatare a instalațiilor energetice prin supravegherea și întreținerea minuțioasă a tuturor agregatelor; creșterea operativității de intervenție în remedierea unor defecțiuni prin organizarea unor echipe calificate; îmbunătățirea arderii la cazanele de mare capacitate; creșterea fiabilității grupurilor de mare putere; executarea în termen a reparațiilor și asigurarea calității cerute la toate lucrările energetice; gospodărirea judicioasă a combustibililor la nivelul centralelor electrice astfel ca să se prevîntîmpine atît penuriile din lipsa cărbunelui în depozit cît și scăderea puterii proiectate a instalației din cauza puterii calorifice necorespunzătoare a combustibililor inferiori (lignit și șisturi) utilizați la producerea energiei. Gospodărirea judicioasă a combustibilului se face începînd cu organizarea rațională a întregii activități și continuînd cu conducerea eficientă a sistemului pe baze energocibernetice.

Reducerea consumurilor și utilizarea eficientă a energiei trebuie să se facă pe baza următoarelor măsuri: scăderea consumurilor specifice și a consumurilor proprii tehnologice, atît la nivelul centralelor și sistemului energetic, cît și la nivelul consumatorilor de energie prin ridicarea randamentelor instalațiilor în funcțiune, perfecționarea schemelor de alimentare cu energie a consumatorilor, îmbunătățirea regimurilor de funcționare pe întregul lanț energetic producție-consum, proiectarea și punerea în funcțiune a unor agregate cu performanțe ridicate, urmărirea exploatării raționale a tuturor instalațiilor cu ajutorul celor mai perfecționate metode și instalații inclusiv cu ajutorul calculatoarelor de proces; consumul total de energie și combustibil nu va putea crește la nivelul național față de cel prevăzut [1], [2], [3] decît pe măsura identificării și exploatării în condiții tehnico-economice avantajoase a noilor surse de

purtători energetici. Sursa principală a dezvoltării constă în asigurarea unei creșteri substanțiale a eficienței economice, privind utilizarea surselor existente de energie și combustibil. Atingerea și depășirea în cel mai scurt timp a realizărilor obținute în condiții similare pe plan mondial în privința consumului energetic pe unitatea de venit național este o sarcină prioritară a energeticii românești. Pentru realizarea acestor deziderate trebuie ca pînă în 1990 indicele mediu al consumului energetic la 1000 lei producție industrială să scadă cu cel puțin 40%, iar în perioada (1990 ... 2000) scăderea să fie de minimum 2,6 ori față de consumul realizat în anul 1980.

Principalele direcții prin care se poate acționa în vederea reducerii consumurilor energetice se pot sintetiza astfel: reanalizarea consumului de energie utilă și alocarea cantității în limite calitative strict necesare procesului; modernizarea tehnologiilor în vederea restrîngerii utilizării de procese energointensive; creșterea randamentelor pe întregul lanț tehnologic de la sursa primară la consumatorul de energie și realizarea unui consum specific cît mai mic cu putință; recuperarea integrală a resurselor energetice secundare; prevederea recuperatoarelor de căldură la nivelul tuturor instalațiilor din sistem; introducerea și generalizarea de soluții noi privind valorificarea căldurii conținute în diverse produse calde și deșeuri (ape de răcire, gaze evacuate, leșii tehnologice etc.) pe baza utilizării pompelor de căldură, a folosirii tuburilor termice și a diverselor tipuri noi de echipamente utilizate pe plan mondial; dezvoltarea industriilor care solicită rațional combustibilul și energia disponibilă și care valorifică la un nivel superior resursele energetice; scoaterea în conservare a unor utilaje mari consumatoare de energie și limitarea funcționării unor instalații care reclamă consumuri specifice mari de energie pe unitatea de produs industrial. Corelarea tuturor direcțiilor de reducere a consumului specific și de economisire a energiei de toate felurile se poate face în cadrul bilanțurilor energetice. În cadrul bilanțurilor se urmărește utilizarea eficientă a resurselor disponibile pe faze ale procesului de producție analizat în ideea obținerii unui randament ridicat la nivelul instalației de producere, transport și utilizare a tuturor formelor de energie. Asigurarea indicilor optimi de consum energetic la nivelul instalațiilor și agregatelor se realizează prin folosirea intensivă și extensivă a utilajelor, prin evitarea mersului în gol; prin mărirea gradului de încărcare; prin eliminarea opririlor accidentelor; prin compensarea factorului de putere și printr-o întreținere și exploatare rațională a tuturor instalațiilor din cadrul conturului de bilanț.

În vederea realizării unor consumuri mici de energie la nivelul economiei naționale se prevăd [1] [2] [3] direcții prioritare de restructurare a proceselor industriale la nivelul ramurilor economice astfel în metalurgie pentru economia de resurse energetice se prevede creșterea gradului de utilizare a căldurii în toate fazele procesului tehnologic, dezafectarea și limitarea funcționării unor cuptoare, elaborarea unor tehnologii noi pentru obținerea aluminei și aluminiului care reclamă consumuri mici de energie, se vor utiliza soluții tehnice pentru introducerea topirii și turnării în vid a metalelor și aliajelor. În industria chimică pe baza analizei de bilanț se va trece la ridicarea randamentelor energetice la toate instalațiile tehnologico-energetice și se vor înlocui agregatele care consumă nejustificat mari cantități de energie și combustibil, se vor moderniza procesele tehnologice în vederea reducerii consumurilor specifice

de materiale și energie și se vor elimina unele faze din procesele industriale care contribuie la mărirea consumului total de energie. În industria constructoare de mașini se vor intensifica cercetările pentru realizarea de utilaje, instalații și echipamente cu consumuri energetice cît mai mici și cu performanțe la nivelul celor realizate pe plan mondial. Astfel, se vor realiza cazane, turbine, motoare cu greutăți specifice mai reduse, cu randamente mai mari și cu consumuri specifice mai mici. Se vor îmbunătăți procesele de ardere în cuptoarele electrice și se vor asimila noi tipuri de cuptoare pentru încălzit și pentru tratamente termice. Dintre utilajele energetice noi care se vor asimila în fabricație reținatenția: turbocompresoarele, blocuri energetice cu generatoare magnetohidrodinamice pe cărbune, utilizarea criogeniei la realizarea instalațiilor electrice în vederea reducerii pierderilor de energie și producerea aparatelor de măsură, control și autcmatizare pentru predeterminarea consumurilor și prevenirea situației energetice cu consumuri nerație nale. În industria materialelor de construcții se va trece la modernizarea tehnologiilor de fabricație a produselor cu consumuri mari de energie. Astfel, la fabricarea cimentului se vor folosi zgura și cenușa de la termocentrale, care funcționează pe lignit simultan cu evitarea proceselor energointensive. În procesele de uscare a acestei ramuri se va extinde utilizarea energiei solare. În transporturi se va trece la optimizarea fluxurilor și la utilizarea combustibililor sintetici pentru autovehicule. Se va extinde tracțiunea electrică feroviară și se va pune accent pe recuperarea energiei la frînarea trenului la coborîrea pantelor. În construcții, clădirile trebuie să se realizeze cu izolații termice îmbunătățite. Fiecare clădire trebuie prevăzută cu aparate de contorizare și reglaj a temperaturii în spațiile încălzite. Arhitectura clădirilor trebuie să favorizeze valorificarea la maximum a căldurii și luminii naturale. Consumul pentru încălzit, iluminat și utilizări casnice se va stabili în funcție de necesitățile reale ținînd cont mai ales de legislația în vigoare. Se va restructura încălzirea cu centrale termice de bloc și se va trece la încălzirea centralizată prin termoficare. Consumul de energie electrică în locuințe să se facă numai cu aparate care au randamente corespunzătoare scopului de economisire a energiei și de stopare a risipei. Micșorarea consumului de combustibil și energie se poate asigura și prin decalarea programului întreprinderilor așa fel încît ele să funcționeze numai la lumina zilei. O contribuție la economisirea tuturor formelor de energie o au masele de oameni, care printr-o educație energetică serioasă, pot înlesni reducerea consumurilor nerație nale și pot imprima un regim optimal de utilizare a tuturor formelor de energie și combustibil atît în procesele industriale, cît și în domeniul utilizărilor casnice.

Cooperarea internațională a României în domeniul energiei este multilaterală cu scopul rezolvării echitabile și eficiente a problemelor ridicate în fața omenirii de criza energetică respectiv de asigurarea necesarului de energie și de utilizarea rațională a acestuia. Colaborarea României cu diverse țări se face în ideea soluționării problemelor legate, atît de valorificarea mai eficientă a resurselor energetice (hidro, nucleare etc.) și a surselor noi de energie cît și de elaborarea și aplicarea în producție a unor tehnologii noi care contribuie la economisirea energiei în toate domeniile de activitate.

2.4.2. Modele de conducere ale ramurii energetice

Modelarea structurii și fluxurilor din cadrul ramurii energetice se face cu scopul de-a stabili pe de o parte echilibrul dintre producția și consumul de energie și de-a optimiza pe de altă parte resursele necesare realizării unor legături tehnologico-organizatorice între ramurile economiei naționale pe baza ingineriei conducerii. În acest scop se construiesc modele pentru corelarea atributelor conducerii și a celor care leagă structura și fluxul unui sistem de energie pe baza relațiilor Leontief-Mincovsky.

Ingineria conducerii ramurii energetice operează cu modele matematice de forma:

a) *Modelul atributelor de conducere*

$$Z_{tac}^{icr} = [Z_{tac}^{pr} + Z_{tac}^{or} + Z_{tac}^{co} + Z_{tac}^{cd} + Z_{tac}^{cr}]_{cop}^{PME} \tag{2-5}$$

Setul de restricții tehnologico-funcționale cantitative și calitative se formează la fiecare nivel în parte proiectare-montaj-exploatare (*PME*) și pentru fiecare subsistem considerat (resurse; centrale; lanț energetic; consumator; interfața sistem-mediu).

b) *Modèlul Leontief-Mincovsky*

$$Z_{lm}^{icr} = [Z_{str}^{tac} + Z_{flux}^{tac}]_{cop}^{PME} = f(X_i;\ Y_i;\ a_{ij}\ x_{ij})$$

$$\sum_i X_i = \sum_i \sum_j a_{ij} x_{ij} + \sum_i Y_i \tag{2-6}$$

în care: Z_{tac}^{icr}; Z_{lm}^{icr} = cheltuielile totale actualizate sîmbure ale ingineriei conducerii ramurii (*icr*) și cele de tip Leontief-Mincovsky (*lm*).

Aceste cheltuieli au componente pentru fiecare atribut al conducerii prevederea (*pr*); organizarea (*or*); coordonarea (*co*); comanda (*cd*) și controlul (*cr*) care se pot scrie în detaliu cu ajutorul cercetării operaționale. Z_{str}^{tac}; Z_{flux}^{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru structura sistemului (Z_{str}) și pentru fluxul de energie (Z_{flux}); X_i = expresia valorică respectiv naturală a mărimilor de intrare în modelul Leontief-Mincovsky; a_{ij} = expresia valorică specifică respectiv expresia naturală a consumurilor; x_{ij} = fluxurile proprii tehnologice în expresie valorică respectiv naturală; Y_i = mărimea de ieșire a modelului Leontief-Mincovsky în expresia valorică respectiv naturală.

Modelele matematice tip Leontief-Minkovsky se pot scrie atît sub forma cheltuielilor care reflectă efortul pentru a stabili legături sistemice între ramurile economiei naționale cît și sub forma fluxurilor de energie care circulă între ramuri. Ele pot fi: modele de echilibru oarecare și modele de optimizare (echilibru optim) între producție și consum de resurse energetice. Dintre tipurile reprezentative de modele algebrice respectiv matriciale Leontief-Min-

covsky reținem atenția pentru ingineria conducerii ramurii energetice următoarele:

c) *Modele nedinamice Leontief-Mincovsky fără și cu import*

$$c_1)\ \left[\sum_i y_i + \sum_i \sum_j a_{ij}X_j\right]_{tac}^{PME} = \left[\sum_i \sum_k a_{ik}V_{ik} + \sum_i r_i + \sum_i p_i + \sum_i a_i\right]_{tac}^{PME}$$

$$c_2)\ \sum_i X_i = \sum_i \sum_j a_{ij}X_j + \sum_i Y_i; \qquad X_i = [E - A]^{-1}; \qquad Y = L^{-1}Y;$$

$$c_3)\ \sum_i X_i = \sum_i \sum_j h_{ij}X_j + \sum_i V_i; \qquad X_i = [E - H]^{-1}V = L^{-1}V; \qquad (2\text{-}7$$

$$h_{ij} = a_{ij}\frac{X_j}{X_i}$$

$$c_4)\ \sum_i \bar{X}_i - \sum_j a_{ij}\bar{X}_j = \sum_i \bar{Y}_i - \sum_i \bar{N}_i; \qquad X_i = L^{-1}\cdot(\bar{Y}_i - \bar{N}_i)$$

d) *Modele dinamice Leontief-Mincovsky deschise*

$$d_1)\ X_i(t) = A_{ij}(t)\,X_j(t) + B_i(t)\,[X(t+1) - X(t)] + Y_i(t);$$

$$d_2)\ X_i(t) = A(t)\,X_j(t) + B_i(t) + D_i(t) + C_i(t); \qquad (2\text{-}8)$$

$$d_3)\ X_i(t) = \Sigma a_{ij}(t)X_v(t) + \Sigma b_{ij}\,dX_j(t)/dt + Y_i(t);$$

e) *Modele dinamice ale comerțului exterior*

$$e_4)\ \sum_i X_i(t) = \sum_i C_i(t) + \sum_i e_i(t) + \sum_j x_{ij}(t) + \sum_j d_{ij}(t); \quad i, j = (1, \ldots, n)$$

$$e_2)\ I_j(t) = i_j x_j(t); \quad U_j(t) = U_j \sum_i d_{ij}(t); \quad d_{ij}(t) = b_{ij}(t)\cdot X_j(t)$$

$$e_3)\ sY(t) = \sum_j U_j(t) + \sum_i \sum_j d_{ij}(t); \quad \sum_i C_i - \sum_j I_j - \sum_j U_i = 0$$

în care: $L = (E - A)$ = matricea Leontief-Mincovsky; A = matricea consumurilor directe; E = matricea unitate; $V_i = r_i + p_i$ = venitul național compus din retribuții (r_i) și plus produs (p_i); a_i = fondul de amortizare; a_{ij} = coeficienți de consum, h_{ij} = coeficienți de repartiție; H = matricea coeficienților de repartiție. $\bar{N}_i$ = resursele importante; $B_i(t)$ = resursele pentru fondurile fixe, de producție; $D_i(t)$ = resursele pentru creșterea stocurilor de producție; $C_i(t)$ = resursele destinate consumului neproductiv; b_{ij} = coeficienți specifici de investiție; $e_i(t)$ = exportul; $x_{ij}(t)$ = consumul productiv; $d_{ij}(t)$ = fluxul de investiții; $I_j(t)$ = importul complementar de materii prime pentru fluxul $x_j(t)$ la costul (i_j). $U_j(t)$ = importul complementar de utilaje pentru investiții în cazul fluxului $d_{ij}(t)$ la costurile u_j; $sY(t)$ = partea acumulată a venitului național.

Modelele Leontief-Minkovsky statice pot fi discrete, continue și hibride închise sau deschise, cu sau fără import. Modelele prezentate pot fi generale (c_1); sau speciale pentru cuantificarea consumurilor (c_2) și pentru repartiții (c_3) fără importuri. Dacă se ia în considerație resursa din import atunci se obține un model de forma (c). Modelele dinamice pot fi generale ($d_1 \ldots d_3$) și modeie pentru comerțul exterior ($e_1 \ldots e_3$).

Transpunerea în practică a ingineriei conducerii sistemelor de energie reclamă pe de o parte corelarea acestor modele cu modelul de alocare al resurselor (MAR) pentru obținerea unui model de armonizare a cererii cu obiectivele și resursele (MACOR), cu modelul de defalcare a planului (MODEP); cu modelul de defalcare a investițiilor (MODAI); cu modelul de previziune a cererii (MOPREC); cu modelul de ordonanțare a sarcinilor pe punctele de lucru (MORD); cu modelul de optimizare zonală (MODOZ) și cu modelul de urmărire control (MUCOR) iar pe de altă parte reclamă construirea de programe în vederea găsirii de soluții energetice privind dezvoltarea ramurii asistată de calculator. Această asistență impune elaborarea unor limbaje tip Leontief-Mincovsky cu arhitectură specială bazată pe teoria limbajelor formale din structura lingvisticii matematice. Aceste limbaje permit rezolvarea algoritmică a următoarelor probleme: calculul coeficienților (a_{ij} și h_{ij}); agregarea și partiționarea modelelor Leontief-Mincovsky și formalizarea matematică a modelelor în vederea scurtării timpului de rulare a progranelor de calculator. Limbajele Leontief-Mincovsky pot fi nonvagi și vagi (Fuzzy) în funcție de gradul de precizie pentru exprimarea legăturilor dintre subsistemele ce compun sistemul de energie. După această formalizare a modelelor matematice se construiesc progranele pentru optimizarea corelației producție-consum și se determină indicatorii de eficiență și calitate reclamați de noul mecanism economico-financiar pentru sistemul național de energie.

2.4.3. Modelarea întreprinderilor energetice

2.4.3.1. Aspecte fenomenologice ale modelării funcțiilor întreprinderilor energetice

Întreprinderea energetică ca unitate de bază a sistemului de energie este organizată pe cinci funcțiuni și anume: funcția de cercetare-dezvoltare; funcția de aprovizionare-desfacere; funcția de producție; funcția de personal și funcția financiar-contabilă. Întreprinderea ca unitate tehnico-productivă încheie piramida conducerii ramurii energiei electrice și termice (REET) fiind subordonată atît centralelor industriale (CIPEET și CIRE) de producere și transport a energiei cît și ministerului energiei electrice (MEE) contribuie pe baza acestei scheme ierarhice la conducerea sistemului național de energie. Deși în cadrul ramurii energiei electrice și termice există întreprinderi diferențiate în funcție de specificul activității ele se pot conduce pe baza principiilor autoconducerii muncitorești, a autogestiunii economico-financiare, a centralismului democratic care îmbină organic conducerea unitară a economiei cu autonomia funcțională a fiecărei unități, principiul autofinanțării și principiul optimizării sistemice a întregii activități. Sarcinile întreprinderilor energetice pe funcțiuni decurg din legea privind conducerea și organizarea unităților so-

cialiste și se referă în principal la elaborarea și realizarea planului, la introducerea progresului tehnic, la aprovizionarea cu resurse, la desfacerea producției, la pregătirea calitativă și cantitativă a forței de muncă și la activitatea financiar-contabilă.

Modelarea activității pe funcțiuni ale întreprinderilor energetice se face cu ajutorul teoriilor cercetării operaționale. Astfel funcția de cercetare-dezvoltare se modelează cu teoria prognozei, teoria căutării și teoria riscului; funcția de aprovizionare-desfacere se modelează cu teoriile stocare-așteptare inclusiv teoriile marketingului industrial; funcția de producție face apel pentru modelare la teoriile echipamente și ordonanțare; funcția de personal operează cu ingineria umană iar funcția financiar-contabilă se modelează cu teoria costurilor și teoria deciziei. Pentru a modela fidel activitatea unei întreprinderi energetice trebuie să se cunoască caracterul procesului de producție și modul de organizare a activității. Procesul de producție se organizează pe unicate, pe loturi (serie) și ca producție de masă. În funcție de aceste caracteristici se construiesc și se aplică în practică schemele ierarhice de conducere. Dintre aceste scheme (liniare, liniar-funcționale) cele liniar-funcționale completate cu servicii de concepție se preferă în cazul unei conduceri dinamice pe obiective.

În vederea perfecționării întregii activități a întreprinderilor industriale și a structurilor ierarhice de conducere a acestora a fost elaborat noul mecanism economico-financiar. Principalii indicatori ai producției, conform mecanismului economico-financiar sînt: producția netă, producția fizică, beneficiul, fondurile întreprinderii, calitatea și eficiența întregii activități. Producția netă ca valoare nou creată prin muncă reprezintă efortul propriu al întreprinderii la realizarea și depășirea sarcinilor de plan. Producția netă se obține, scăzînd din producția globală cheltuielile materiale. Cu cît producția netă a întreprinderii este mai mare cu atît fondurile întreprinderii cresc iar activitatea productivă se dezvoltă contribuind la mărirea beneficiului. Beneficiul acoperă pe de o parte alocațiile de la bugetul de stat, iar pe de altă parte, revine oamenilor muncii din întreprinderi pe diverse căi (compensații, constituirea fondului pentru locuințe, organizarea de excursii în țară și peste hotare etc.). În ramura energiei electrice și termice vărsămintele de stat se efectuează prin centralele industriale de producere a energiei (CIPEET) și de transport a energiei (CIRE).

Particularitățile organizării și conducerii întreprinderii la nivelul ramurii energiei electrice și termice se prezintă astfel:

— Specificul activității în ramura energiei electrice a reclamat clasificarea întreprinderilor pe baza concepției sistemice după cum urmează: întreprinderi de cercetare-proiectare (ICEMENERG, ISPE, ISPH și secțiile de cercetare-proiectare din cadrul întreprinderilor de rețele); întreprinderi de construcții montaj de centrale, stații și linii electrice (energoconstrucția, energomontaj și energoutilaj); întreprinderi de producere a energiei electrice și termice (electrocentrale, hidrocentrale, centrale electrice de termoficare, centrale nuclearo-electrice, centrale solare, eoliene, geotermice, mareomotrice etc.); întreprinderi de rețele electrice și termice de transport și distribuție (IRE, IDE etc.), sectoarele energetice din cadrul întreprinderilor industriale; între-

prinderile pentru repararea utilajului energetic (Energoreparații) și întreprinderea de conducere a sistemului energetic național (DEN și DET).

— Exploatarea instalațiilor energetice din punct de vedere operativ este asigurată de dispecerul energetic național. Această întreprindere (DEN) este organizată la nivelul național în următoarele trepte de conducere: dispecerul central; dispecerii teritoriali (DT — Craiova, Timișoara, Cluj, Bacău și București), dispecerii energetici de întreprindere (rețele electrice, centrale hidroelectrice; dispecerii locali sau coordonatorii de manevră, dispecerii de la consumatori și dispecerii pentru urmărirea consumurilor pe marile utilaje comandate de calculatoare de proces). Dispecerul energetic național comandă operativ toate întreprinderile de producere, transport și distribuție a energiei urmărind respectarea parametrilor de calitate a energiei în condiții restrictive impuse de reparațiile planificate, de cele preventive și de cele necesare ca urmare a avarierii accidentale a instalațiilor. În energetică planul de producție a energiei electrice și termice se consideră îndeplinit dacă s-a respectat calitatea energiei ($U = ct$; $f = ct$; $P = ct$; $T = ct$) în condiții de continuitate a alimentării consumatorilor și de satisfacere a cererii chiar dacă nu s-a produs energia planificată inițial.

— Structurile și caracterul producției în energetică au particularități distincte în funcție de tipul întreprinderii. Astfel la unele întreprinderi de electrocentrale apar secții de producție (secția gospodăririi combustibilului, secția cazane, secția turbine, secția electrică, secția calculatoare și laboratoare electrice inclusiv — cele termice, secția hidrotehnică, secția transporturi și transformatoare, secția auxiliară și de gospodărire) iar la unități mari organizarea se face pe grupuri.

Structurile de producție din cadrul întreprinderilor de rețele electrice și termice cuprind secții de rețele pe nivele de tensiuni și centre interjudețene sau locale. Centrele urmăresc repararea și întreținerea instalațiilor, rezolvă problemele legate de avizări instalații noi la blocuri de locuințe și au competență în domeniul relațiilor cu consumatorii din zonă, inclusiv citirea contoarelor și încasarea facturilor din tarifarea energiei. Structura de producție a sistemului energetic național o formează centralele și rețelele electrice organizate pe întreprinderi și corelate la nivel central. Procesul de producție în energetică poate avea caracter discret (cercetare-proiectare, montaj, reparații) sau poate avea caracter continuu (producerea energiei în centrale, transportul energiei spre consumatori prin lanțuri energetice cu una sau mai multe trepte de transformare, legate între ele electric și mecanic). Principalii factori care determină structura de producție a unui sistem energetic sînt: mărimea și amplasarea geografică a centralelor; importanța și întinderea rețelelor electrice și termice, precum și raportul dintre activitatea de bază și activitatea auxiliară.

— Baza activității energetice din cadrul întreprinderilor industriale o constituie procesul de producție. Modul de organizare a producției se reflectă în gradul de încărcare a utilajelor și are repercusiuni asupra exploatării tuturor instalațiilor energetice. Procesele de producție pot fi de bază, auxiliare și anexe. Procesele de bază transformă structura internă a obiectelor muncii și cuprind stadiile de prelucrare, montaj și probe tehnologice pentru fiecare tip de produs în execuție. Procesele auxiliare ajută desfășurarea activităților

de bază și se referă la transport, reparații, organizarea depozitelor etc. Procesele anexe înlesnesc valorificarea resurselor interne ale întreprinderii. Tipurile de fabricație întîlnite în practică în cadrul proceselor de bază sînt: fabricația de unicate, fabricația de serie (mică, mijlocie, mare) și fabricația de masă. Fabricația de unicate este mai rar întîlnită în energetică, pe cînd fabricația de serie se întîlnește la realizarea stîlpilor, clemelor, armăturilor, aparaturii de joasă, medie și înaltă tensiune, realizarea celulelor de măsură și a celor de comutație din stațiile electrice. Producția de masă apare în cazul realizării părților componente ale aparaturii de automatizare și în cazul producerii energiei electrice și termice, fie în centralele electrice republicane, fie în cele de la nivelul întreprinderii. Caracteristicile proceselor de fabricație diferă de la producția de unicate și serie la cea de masă. La producția de unicate se folosesc utilaje universale, ciclul de fabricație este mare, personalul muncitor este retribuit în regie, iar constanța fabricației este redusă. În cadrul producției de serie crește stabilitatea nomenclaturii și uneori se ajunge la tipizarea produselor, personalul muncitor este retribuit în acord, iar produsele se prelucrează în loturi. La producția de masă apare unul cel mult două produse care nu se schimbă ca nomenclatură. În energetică, producția de masă în flux apare în special la exploatarea centralelor electrice. Costul producției scade de la unicat la producția de masă. Unul din elementele de bază ale organizării producției în întreprinderile industriale consumatoare de energie este și durata ciclului de fabricație. Ciclul de fabricație este perioada de timp în decursul căreia materia primă trece prin toate operațiile procesului tehnologic și este transformată în proces finit. Mărirea ciclului de fabricație caracterizează gradul de continuitate a procesului de producție, a folosirii fondurilor fixe și a executării calitative a celorlaltor activități, inclusiv a activităților energetice din întreprindere. Ciclul de fabricație cuprinde perioada de lucru și perioada de întreruperi (planificată și neplanificată). Eficiența activității crește dacă perioada de întrerupere are valoare minimă. Caracteristicile proceselor tehnologice din cadrul sistemelor industriale cu structură continuă și în special a celor din cadrul centralelor electrice republicane sau de la nivelul întreprinderilor industriale sînt următoarele: instalațiile se dimensionează pentru preluarea vîrfului de sarcină, producția se continuă cu transportul și distribuția pînă la consumator, producția fiind cvasisimultană cu consumul legătura dinitre punctele de producere a energiei și punctele de consum este continuă, caracterul proceselor de avarie și rapiditatea acțiunilor, necesitată de înlăturarea lor, implică măsuri speciale de organizare și conducere atît a unităților de producere a energiei, cît și a celor de consum. Dependența consumului de energie de gradul de încărcare a utilajelor, respectiv de gradul de organizare a producției este invers proporțională pînă la încărcări în jurul sarcinii economice dictate de caracterul procesului de producție. Consumul minim de energie se realizează la grade de încărcare de circa (0,8 ... 0,9) din puterea nominală a agregatului energetic. Această acțiune de organizare atrage după sine micșorarea circulației de putere reactivă din rețea și reducerea consumului propriu tehnologic de energie în lanțurile energetice din cadrul întreprinderii analizate. Deci cheia economiei de energie în industrie stă în studiul legăturilor de interfață dintre energie și tehnologie.

— Organigramele întreprinderilor energetice se elaborează pe baza normelor legislative de structură, ținînd seama de specificul activității fiecărei unități industriale. Elaborarea organigramelor de la nivelul unităților ce compun un sistem energetic se face în ideea desfășurării unei activități eficiente, atît în prezent, cît și în perspectiva dezvoltării întreprinderilor energetice. Orice structură organizatorică cu specific energetic trebuie să scoată în evidență o grupare logică și o condiționare sistemică a activităților din cadrul funcțiilor întreprinderii. Diferențierea și specializarea funcțiilor permit crearea următoarelor compartimente la nivelul unității energetice: compartimentul de stat major care pregătește deciziile și urmărește aplicarea acestora; compartimentul funcțional, avînd ca sarcină realizarea activităților de bază ale întreprinderii; compartimentul operațional cu sarcina de-a exploata rațional instalațiile energetice din întreprindere; compartimentul furnizor, care urmărește executarea de prestații (relații cu consumatorii, executarea lucrărilor auxiliare și anexe) și compartimentul de concepție cu sarcina de-a elabora studii de prognoză, privind dezvoltarea întreprinderilor din toate punctele de vedere. În aceste compartimente există legături de consultare, funcționare și cooperare care trebuie să realizeze o strînsă corelație între producție și consum. Eficiența acestor legături este direct proporțională cu competența cadrelor care participă la finalizarea colaborării dintre compartimente. O structură organizatorică rațională trebuie să permită: realizarea optimă a obiectivelor, coordonarea judicioasă a responsabilităților și sarcinilor, implementarea unor circuite optimale de comunicații, în vederea utilizării eficiente a resurselor materiale și umane. În condițiile crizei energetice întreprinderile au nevoie de structuri dinamice, care să contribuie la folosirea optimă a resurselor depășind cu suplețe restricțiile impuse de mediu fiecărei unități de producție. Pentru realizarea unor structuri dinamice se fac studii de optimizare cu scopul evitării sub dimensionării, respectiv a supradimensionării organigramelor. La baza acestor studii trebuie să stea experiența practică care reclamă stabilirea pe baza calculației inginerești a raportului dintre volumul muncă și numărul de executanți; conducătorii trebuie să-și formeze colective de oameni competenți care execută corect, rapid și eficient sarcinile din cadrul planului de activitate, fiecare conducător nu poate coordona eficient decît activitatea a (5 ... 6) subalterni, cînd aceștia rezolvă probleme complexe cu caracter de noutate și poate conduce colective de circa 30 lucrători cînd munca depusă de subordonați are caracter de rutină. Relațiile dintre conducători și subalterni se determină astfel: $N_e = 0{,}5\ n(2^n + 2n - 2)$; pentru $n = 5$, rezultă $N_e = 100$ de legături. Aceste legături trebuie să se realizeze pe cele mai scurte și operative trasee, astfel ca fiecare subaltern să aibă un singur șef ierarhic. Fiecare post să aibă sarcini precise, iar responsabilitatea trebuie să fie însoțită de autoritatea necesară. Elaborarea structurilor optime se face în ideea apropierii operative a conducerii de producție numai după studierea variantelor de soluții energetice posibile de conducere eficientă a întregului sistem. Determinarea variantei optime se face pe baza calculării indicilor de centralitate și periferism, a determinării puterii de iterație a fiecărei variante de organigramă posibilă, a calculării entropiei, respectiv determinării energiei informaționale. Dacă întreprinderea este sistem cibernetic atunci pentru modelarea activităților trebuie identificate: subsistemele sub forma „cutiilor seminegre" și stimulii

sistemului; datele de intrare și cele de ieșire din fiecare subsistem inclusiv constantele de timp ale sistemului; punctele și cauzele perturbațiilor, buclele de reacție ale sistemului și schema cibernetică bloc a întregului ansamblu. Pentru elaborarea schemei de structura și flux a unei întreprinderi energetice trebuie avut în vedere caracterul procesului de producție și interacțiunea dintre subsistemele componente ale acesteia. Întreprinderea este atît sistem cibernetic cît și sistem dinamic ierarhizat cu mai multe nivele de conducere coordonate dintr-un punct central de decizie. În acest punct se planifică și se urmărește producția pe baza a două case de modele și anume: modele dinamice pentru planificarea și programarea producției și modele dinamice pentru urmărirea și controlul realizărilor. Deoarece procesele de producție se desfășoară în cele mai multe cazuri în cascadă ele se reglează greu prin retroacțiune. Această operație este ușurată prin programarea secvenței operațiilor și prin controlul producției astfel ca fluxul de materiale și energie să conveargă către produsul finit. Pentru ca această schemă de reglare să conducă la rezultatul dorit omul intervine la nivelul mărimelor de intrare astfel încît să se obțină la ieșire datele căutate. În vederea acestui scop se construiește modelul întreprinderii ținînd seama de variabilele de intrare-ieșire din sistem și variabilele de stare supuse perturbațiilor. Structura modelului pe funcțiuni trebuie să cuprindă o funcție de eficiență pentru procesele continue și cele discrete și un set de restricții tehnologico-funcționale cantitative și calitative. Soluția optimă trebuie să evidențieze valorile într-un timp dat a variabilelor de stare și a celor de comandă astfel ca variabilele de ieșire să se încadreze în limitele indicatorilor tehnico-economici prestabiliți. Acest deziderat se poate obține cu ajutorul schemei de reglare care conține blocuri de decizie, bucle de reacție, obiectul reglat, perturbațiile și limitele de variație ale mărimilor de intrare-ieșire. Astfel vectorii mărimilor de intrare sînt obiective de plan; blocurile de decizie corespund nivelelor de conducere care analizează distanța dintre obiectivele planificate și cele realizate; corecțiile se fac prin feedbackurile buclelor de reacție astfel ca a ieșire produsele realizate să fie practic optimale. Deciziile la nivel operațional de urmărire-control pot fi cibernetizate iar cele la nivel tactico-strategic sînt parțial cibernetizate. Prin introducerea nivelelor decizionale se obțin scheme de reglare pentru sisteme ierarhizate de conducere. Aplicarea schemelor de reglare la conducerea sistemelor mari reclamă formarea fișierelor de informații pe funcții ale întreprinderii.

Aplicarea teoriei optimizării sistemelor de energie reclamă împărțirea ansamblului pe subsisteme (centrale, rețele electrice și termice, consumatori de energie) ceea ce duce la apariția pe lîngă variabilele de stare și de comandă, a variabilelor de interacțiune. Fiecărui subsistem i se afectează o funcțională desagregată din funcția de eficiență a sistemului ceea ce reclamă formarea de submodele de optimizare a fiecărui subsistem. În cadrul unei centrale electrice considerată sistem cibernetic de producție apar următoarele subsisteme: subsistemul gospodăririi combustibilului; subsistemul cazan-turbină; subsistemul electric; subsistemul hidrotehnic; subsistemul laboratoare și calculator și subsistemul interfață cu mediu între care există reacții directe de la furnizorul de combustibil la producerea energiei și reacții inverse de la sistemul consumator prin mediu la furnizarea combustibilului.

Optimizarea cantitativă se poate realiza fie la nivelul fiecărui subsistem fie la nivelul întregii centrale electrice. În acest scop se aplică următoarele tehnici: se determină optimurile locale la nivelul fiecărui subsistem și prin coordonarea acestora se obține optimul la nivelul ansamblului sau se construiește o funcție de eficiență agregat care se rezolvă direct ținînd cont de restricții și se obține un optim global. La nivelul unei întreprinderi de rețele electrice apar cinci subsisteme pe funcțiuni ale întreprinderii și anume: subsistemul plan dezvoltare; subsistemul aprovizionare-desfacere; subsistemul relații cu consumatorii și secțiile de medie inclusiv înaltă tensiune; subsistemul resurselor umane și subsistemul economico-financiar. Pentru fiecare subsistem în parte se construiește o funcție de eficiență care asociată unor restricții tehnologo-funcționale permite găsirea regimului optim de funcționare. Consumatorii de energie apar ca subsisteme în cadrul întreprinderii industriale. Întreprinderea industrială cu cele cinci subsisteme are în componenta sa și subsistemul energetic care se optimizează în funcție de restricțiile generale și specifice din cadrul proceselor analizate. Probleme speciale apar la nivelul de interfață energie-tehnologie care se pot rezolva atît prin modele cantitative cît și prin modele calitative. Optimizarea sistemelor industriale sub aspect energetic se poate face cu ajutorul teoriei jocurilor de întreprindere dacă s-a pus la punct structura agregată a modelului, respectiv banca de date operative și previzionale. Pe baza informațiilor se pot măsura valorile restricțiilor și se poate trece la descompunerea acestora în vederea utilizării lor fără dificultăți. Cu cît informația este mai agregată cu atît gradul ei de fuzificare crește. Pe baza teoriei informației și a entropiei informaționale se poate determina gradul de organizare al întreprinderii înainte și după optimizare.

2.4.3.2. Modele matematice ale activității întreprinderilor energetice

Dimensionarea optimă a întreprinderilor energetice trebuie să se refere atît la partea tehnologică cît și la partea de organizare dar aceste părți trebuie să fuzioneze la nivelul modelului agregat de optimizare a întregii activități din cadrul funcțiilor întreprinderii.

Funcțiile de eficiență al modelelor matematice de optimizare ale activității întreprinderilor energetice au următoarele structuri:

$$Z^{it}_{tac_1} = [Z^{sth}_{tac} + Z^{sor}_{tac}] = [Z_{pz} + Z_{cs}]^{PME}_{tac} = minim \tag{2-9}$$

$$Z^{it}_{tac_2} = [Z^{cpr}_{tac} + Z^{apd}_{tac} + Z^{prod}_{tac} + Z^{per}_{tac} + Z^{sm}_{tac} + Z^{fct}_{tac}]^{PME}_{cop} = minim$$

$$Z^{itm}_{tc_3} = \sum_i z^m_{tci} \cdot x^m_i; \qquad Z^{itp}_{tac_4} = \sum_i z^p_{tcci} \cdot x^p_{taci}$$

$$Z^{itp}_{tac_5} = \sum_m \sum_l \sum_k \sum_j \sum_i z^{tac}_{mlkji} x^{tac}_{mlkji}$$

$$Z^{tco}_{pz} = [Z_{sa} + Z_{eo} + Z_{ip} + Z_{cr} + Z_{cd}]^{PME}_{tac}$$

$$Z^{tac}_{cs} = [Z_m + Z_{cx} + Z_{cl} + Z_{ech} + Z_{dnp}]^{PME}_{tac} = [Z'_{cs} + Z_{ech}]^{PME}_{tac}$$

$$Z^{itac}_{cs} = \{[C_m + C_{cx} + C_{cl} + C_{dnp} + I_m + I_{cx} + I_{cl} + I_{dnp}]_{tac} - R'_{tac}\}$$

$$Z_{ech}^{tac} = [(C_{ech} + I_{ech})_{tac} - R_{tac}^{ech}]; \qquad R_{tac} = I_{tac}(1 - c_{amt})$$

$$C_{ech} = p_e \Delta E_{ech} \cdot \frac{1}{\eta_t} \qquad \Delta P_{ech} = (P_i - P_k I;$$

$$I_{ech} = i_{sp} \cdot \Delta P_{ech} \frac{1}{\eta_t} \qquad \Delta E_{ech} = t_f \cdot \Delta P_{ech}$$

$$Z_{tac_e}^{it} = f(H_i; E_i; G_i); \qquad H_i = \left[\sum_i p_i \lg \frac{1}{p_i} + \sum_i q_i \lg_2 \frac{1}{q_t}\right]$$

$$E_i = \left[\sum_i f_i^2 - \frac{1}{n}\right]\left[\frac{n}{n-1}\right]; \qquad G_i\% = \frac{H_e}{H_i} \cdot 100 = \frac{E_i}{E_e} \cdot 100$$

în care Z_{tac1}^{it} = cheltuielile totale actualizate pentru conducerea optimală a întreprinderii cu o structură tehnologică (Z_{tac}^{sth}) și organizatorică (Z_{tac}^{sor}) date care se pot calcula atît sub forma cheltuielilor propriu-zise (Z_{pz}) și a cheltuielilor de conexiune inversă (Z_{cs}) cît și sub forma cheltuielilor pe funcțiuni ale întreprinderii: cercetare-dezvoltare (Z_{tac}^{cpr}); aprovizionare-desfacere (Z_{tac}^{apd}) producție (Z_{tac}^{prd}); personal (Z_{tac}^{per}) și cheltuieli financiar-contabile (Z_{tac}^{fct}) · Z_{tc}^{itm} ; Z_{tac}^{itp} = cheltuielile totale pentru bilanțul energetic momentan (itm) și pentru cel de perspectivă (itp) în care apar costurile specifice anuale (z_{tci}) și cele actualizate (z_{taci}) precum și fluxurile aferente (x_i^m); (x_i^p) atît pentru formele finale ale energiei (căldura, energia mecanică, energia de sinteză chimică și energia radiantă) cît și formele energiei primare (x_{mlkji}) pentru felul combustibilului (m) tipul centralei (l), caracteristica lanțului energetic (k) ce leagă producția de consumator (j) și felul energiei finale cerute (i). Cheltuielile propriu-zise (Z_{pz}^{tac}) cuprind cheltuielile cu stocarea și așteptarea (Z_{sa}); cheltuielile cu echipamentele și ordonanțarea (Z_{eo}); cheltuielile cu ingineria umană și prognoza (Z_{ip}); cheltuielile de căutare și risc (Z_{cr}) și cheltuielile cu teoriile cost plus decizie (Z_{cd}). Cheltuielile generate de aplicarea concepției sistemice (Z_{cs}^{tac}) denumite și cheltuieli cu conexiunea inversă cuprind cheltuielile cu procurarea resurselor (Z_m) cheltuielile conexe și colaterale ($Z_{cx} + Z_{cl}$) (cele pentru aducțiunile de apă și pentru instalațiile de transport ce leagă obiectivul proiectat de sistemul național de energie), cheltuieli de echivalare (Z_{ech}) pentru ca soluțiile comparate să aibă la utilizare aceleași efecte utile și cheltuieli diverse inclusiv cele neprevăzute. Cheltuielile de echivalare (C_{ech}) calculate ca produsul dintre costul energiei (p_e) și energia de echivalare $\Delta E_{ech} = (E_k - E_i)$ împărțită la randamentul liniilor de transport (η_t) se adaugă la soluția cu cea mai mică producție de energie iar investițiile de echivalare calculate ca produsul dintre investiția specifică F_i (isp) și puterea de echivalare (ΔP_{ech}) supra randamentul (η_t) se adaugă la varianta cu cea mai mică putere produsă. Echivalarea se face la nivelul resurselor combustibile dacă între acestea există diferențe în ceea ce privește puterea calorifică inferioară, se face la nivelul centralelor și rețelelor care au consumuri proprii tehnologice diferite, se face la nivelul consumatorilor dacă produsele înglobează diferențiat energia și în rețeaua internă a întreprinderilor consumurile proprii tehnologice sînt diferite de la o variantă la alta. Soluția optimă trebuie să reclame un consum redus de energie iar chel-

tuielile totale și entropia informațională (H_i) să fie minime. În astfel de cazuri gradul de organizare (G_i) și energia informațională trebuie să aibă valori maxime.

Conducerea optimală a întreprinderilor ca subsisteme ale sistemului național de energie considerată o problemă de concepție trebuie să se rezolve în fazele de cercetare-proiectare-montaj a obiectivelor noi și să se finalizeze în faza de exploatare a întregului sistem. Acest deziderat este de o stringentă actualitate în faza extinderii calculatoarelor de proces și a energocibernetici reclamînd totodată soluții pertinente în domeniul conducerii optimale a sistemelor energetice mari.

3. CONDUCEREA PE BAZĂ DE OBIECTIVE A SISTEMELOR MARI

3.1. Premisele obiectivelor conducerii sistemelor industriale

Conducerea pe baza obiectivelor de plan a unui sistem operează cu următoarele modele: model dinamic de armonizare globală a obiectivelor cu resursele (MDAG); model de defalcare și agregate totală (MDAT); model de urmărire și control (MURC). Conducerea pe baza obiectivelor din plan este un proces continuu de armonizare a obiectivelor cu resursele. Obiectivele de plan sînt: producția (netă, fizică, marfă, globală, neterminată); productivitatea; cheltuielile la 1000 de lei producție, beneficiu, termenul de livrare a produselor realizate, calitatea și rentabilitatea. Resursele cuprind: forța de muncă, fondurile financiare, investițiile, resursele materiale și energetice; capacitățile de producție în funcțiune etc. Indicatorii de plan (producția netă, producția fizică, beneficiul etc.) acționează ca restricții în cadrul procesului de armonizare a obiectivelor de plan cu resursele disponibile. Restricțiile fixează limitele în care se poate desfășura activitatea productivă și reflectă principiul general conform căruia optimul global este de preferat față de „suma" optimurilor parțiale. Aplicarea conducerii pe obiective la elaborarea și realizarea planului anual al unei întreprinderi industriale se poate urmări pe figura (3.1).

Fundamentarea și elaborarea planului trebuie să înceapă cu un an înainte de anul de plan, respectiv la începutul anului de bază cu condiția să se cunoască obiectivele planului cincinal. Fazele orientative de elaborare a planului și predarea acestuia sînt următoarele: în martie întreprinderea trebuie să predea propunerile pentru planurile de import pentru anul care urmează (anul de plan), în mai-iunie se predă planul de aprovizionare din țară; în august întreprinderea primește planul de stat pentru anul următor de la forurile ierarhice superioare. Pentru a pregăti lansarea planului încă de la sfîrșitul anului de bază se procedează astfel:

— Se determină vectorul de stare $S = f(i; p; r)$ în care: $i = (i_1 \dots i_n)$ sînt indicatorii de plan; $(p = p_1 \dots p_n)$ sînt produsele ce trebuie livrate în cantitățile solicitate și la termenul fixat; $(r = r_1 \dots r_n)$ sînt resursele, care descriu global comportarea sistemului.

— Cunoașterea stărilor $(S_0; S_0'; S_f; S_f')$ prin studierea variantei de plan sosită în august la locul de producție $(S_f; S_f')$ și prin predeterminarea închiderii

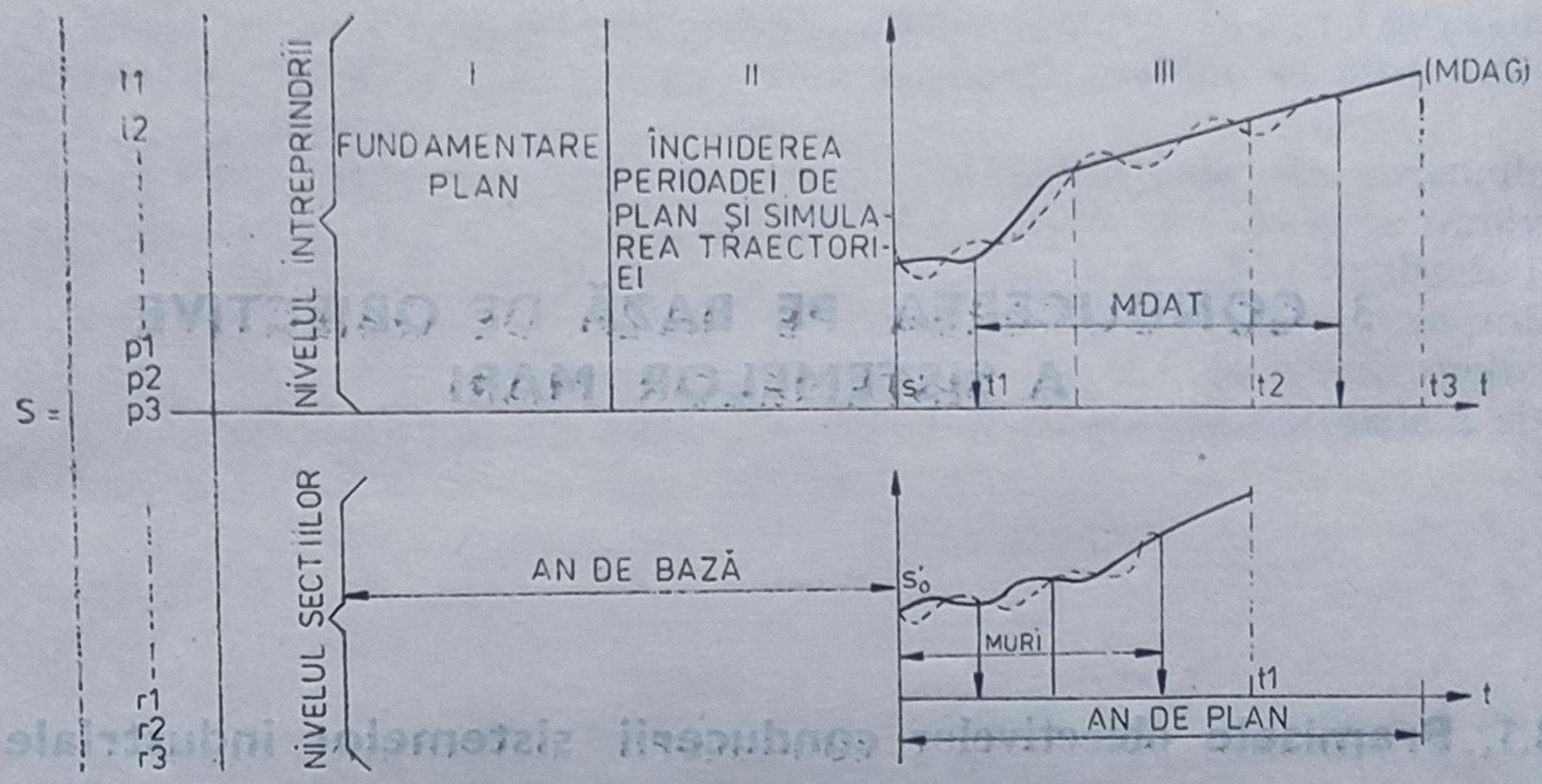


Fig. 3.1
DIAGRAMA CONSTRUIRII ŞI URMĂRII PLANULUI LA NIVELUL UNUI SISTEM INDUSTRIAL

anului de bază (S_0 S'_0). Pe baza acestor valori se simulează traiectoria ($S_0 \dots S_f$) atît la nivelul atelierelor ($S'_0 \dots S'_f$) cît și la nivelul sistemului ($S_0 \dots S_f$). Procesul de raportare al abaterilor filtrate conform unor criterii prestabilite se face prin agregarea valorii vectorilor (S') pentru obținerea vectorilor (S).

— Se pregătesc deciziile de armonizare a resurselor cu obiectivele din plan și se determină traiectoria optimă a evoluției producției în perspectiva dezvoltării sistemului cercetat. Deciziile se referă atît la fundamentarea propunerilor de plan în ideea determinării traiectoriei din spațiul stărilor cît și la urmărirea, respectiv îndreptarea abaterilor de la traiectoria preliminată de evoluție a sistemului cercetat.

— Construirea modelelor statice și dinamice de armonizare globală a obiectivelor din plan cu resursele disponibile. Armonizarea statică a obiectivelor cu resursele disponibile se realizează fie cu modele ale programării liniare, fie cu modele de balanță a legăturilor dintre sectoarele sistemului analizat. Modelele dinamice de armonizare operează cu metode de programare dinamică care permit desfășurarea în timp a producției cu respectarea restricțiilor de manoperă, cheltuielile materiale, termen de livrare, colaborări impuse, etc. La nivelul întreprinderilor industriale armonizarea dinamică se realizează cu programe ca: CLASS pe I.B.M.; ORDO pe Felix C-256 etc.

— Declanșarea acțiunilor trebuie să aibă la bază soluții precise atît pentru situația de moment cît și pentru perspectiva dezvoltării sistemelor. Experiența mondială în conducerea sistemelor de energie arată că deciziile se polarizează atît după orizontul de plan, cît și după orizontul de bază. Deciziile polarizate după orizontul de plan se utilizează în conducerea prin obiectivele sistemelor complexe și au un puternic caracter prospectiv. Pe baza lor se simulează traiectoriile de evoluție ale producției și se atinge în condiții date de restricții punctul final al traiectoriei așteptate. Deciziile polarizate după orizontul de bază al planului se utilizează în cadrul conducerii prin excepție pen-

tru corectarea abaterilor față de traiectoria preliminată. Ponderea principală în activitatea de conducere indiferent de nivelul ierarhic trebuie s-o aibă deciziile prospective. La construirea deciziilor trebuie aplicată consecvent concepția sistemică de abordare a obiectivelor de plan și a legăturilor acestora cu mediu pentru a se construi modelul de ansamblu al întreprinderii analizate. Modelul sistemic al întreprinderii trebuie să cuprindă elementele componente esențiale ale producției și relațiile cu mediu. Neglijarea stăpînirii ansamblului întreprinderii realizat pe baza concepției sistemice poate duce la construirea unor decizii cu efecte negative la nivelul sistemului chiar dacă la nivelul locurilor de lucru soluțiile au caracter optimal. Construirea deciziilor pe baza concepției sistemice reclamă luarea în considerație a corelațiilor dintre obiectivele de plan și a legăturilor sistemului cu mediu, atît pentru situațiile de moment, cît și pentru perspectiva dezvoltării întreprinderii analizate. Conducerea prin plan este strîns legată de alocarea resurselor în raport cu obiectivele prestabilite și reclamă armonizarea continuă a obiectivelor cu resursele disponibile, defalcarea sarcinilor și urmărirea realizărilor în ideea eliminării abaterilor de la traiectoria prestabilită, inclusiv agregarea rezultatelor în vederea comparării realizărilor cu nivelele planificate ale producției.

În cadrul unei întreprinderi distingem trei procese și anume: procesul de conducere; procesul condus și procesul informatic. Procesul informatic face legătura dintre conducere și execuție și operează cu modele de corelație a procesului de conducere și a procesului condus. La baza procesului de conducere stă modelul de armonizare al resurselor cu obiectivele din plan. Pentru fundamentarea planului se folosește modelul de armonizare globală, care poate avea caracter liniar sau neliniar și se poate construi pentru structuri discrete sau continue, atît în forme deterministe, cît și în forme probabilistice. Modelele probabiliste reflectă mai fidel evoluția sistemului cercetat. Cu ajutorul modelului de armonizare globală se înscriu obiectivele din plan în fiecare resursă, pe o anumită durată de timp în ideea optimizării acțiunilor de realizare a planului. Modelul de armonizare dinamică permite trasarea traiectoriei de evoluție în timp a sistemului, utilizînd rezultatele obținute prin aplicarea modelului de armonizare globală. Aplicarea modelelor de armonizare globală se realizează prin pachete de softuri denumite CLASS, și ORD. Aceste aplicații permit simularea desfășurării în timp a fabricației. Desfășurarea planului de-a lungul anului de bază se realizează cu modele DEF. Urmărirea traiectoriei trasate de evoluția stărilor sistemului are drept scop corectarea abaterilor care apar în desfășurarea procesului. Modelul de urmărire (MUR) care permite determinarea abaterilor traiectoriei reale de realizare a planului față de traiectoria dorită este continuat cu modelul „AGR“, care filtrează abaterile mari ce vor fi corectate la nivelul întreprinderii.

Modelele procesului informatic permit simularea activităților de conducere din cadrul întreprinderilor. Pentru modelare se utilizează o bază cît mai completă de date care descrie regimul de funcționare al procesului de producție. Baza de date trebuie astfel construită, încît să servească la aplicarea modelelor „MAD“ și „MUR“ și să permită elaborarea rapoartelor privind stadiul desfășurării producției, astfel ca deciziile să fie fundamentate la toate nivelele de preliminare și defalcare a planului inclusiv la nivelul de urmărire-control în vederea corectării abaterilor. Procesul informatic structurat ca sistem ciber-

netic are două bucle de reacție, una pentru reglaj și cealaltă pentru autoreglaj, așa cum se arată în figurile (3.2) și fig. (3.3).

Bucla de autoreglaj este operativă la nivelul secției de producție, iar cea de reglaj este operativă la nivelul întreprinderii. Deci pentru conducerea prin plan sînt necesare două nivele de conducere, respectiv două bucle de

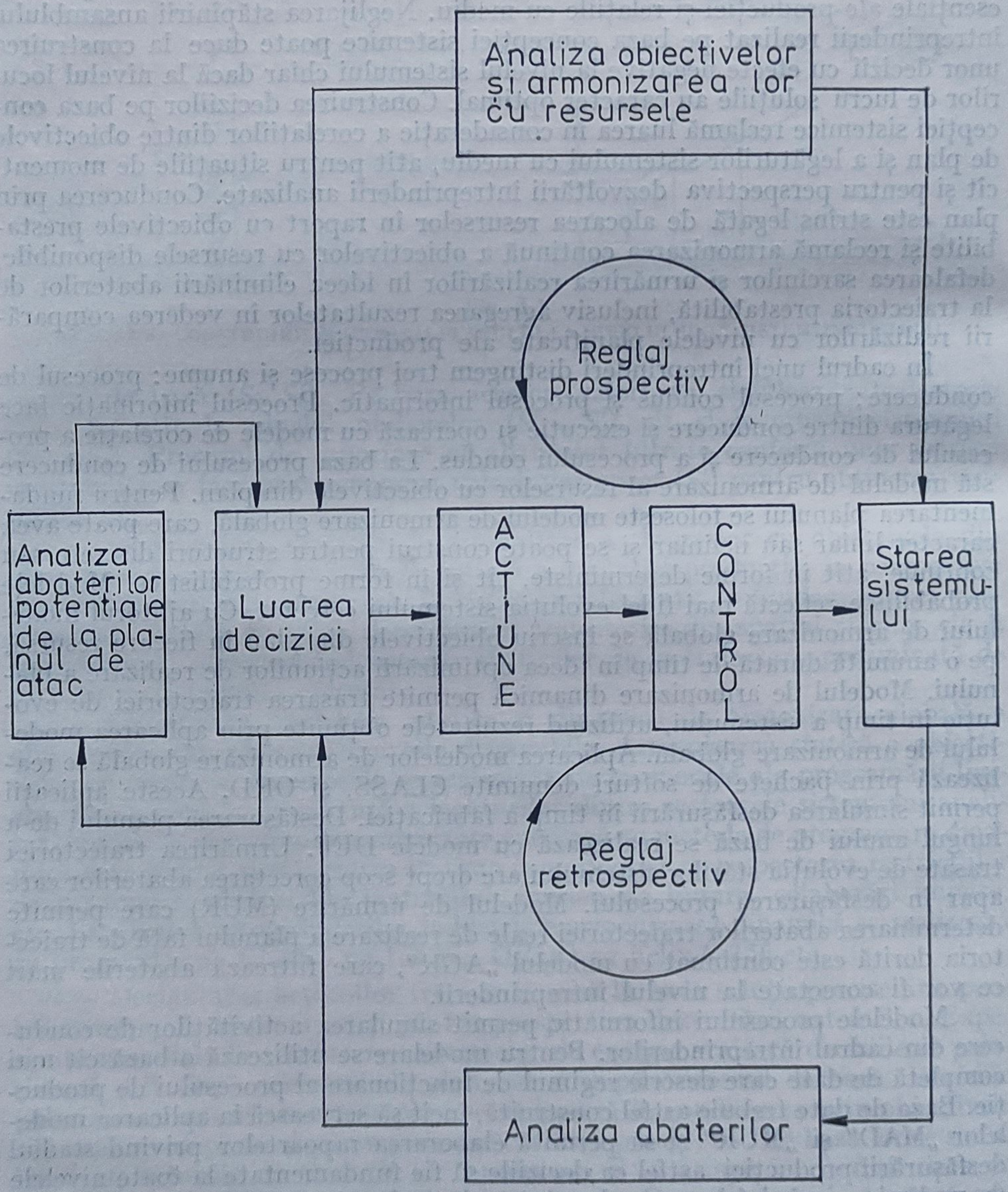


Fig. 3.2

SCHEMA DE REGLAJ RETROSPECTIV ȘI PROSPECTIV LA NIVELUL UNUI SISTEM DE ENERGIE

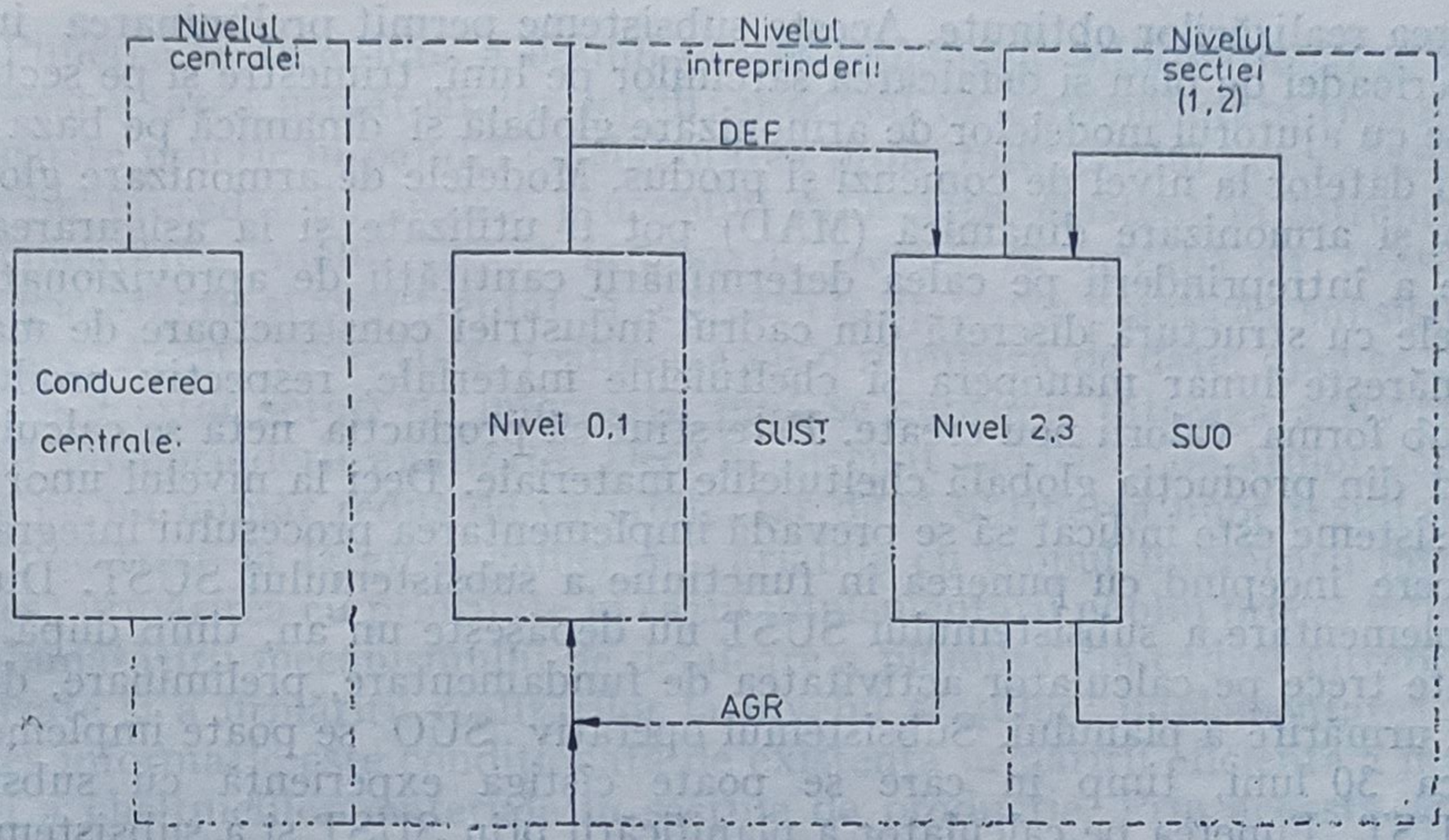


Fig. 3.3
SCHEMA CONDUCERII CIBERNETICE A UNUI SISTEM AGREGAT DE ENERGIE

reglaj. Structura cibernetică cu două bucle de reglaj este necesară și suficientă ca procesul informatic să fie folosit ca instrument pentru conducerea prin plan. Din analogia cu teoria reglării automate pentru echipamente tehnice rezultă că în cadrul producției bucla principală este bucla de reglaj a parametrilor producției și a legăturilor cu beneficiarii, iar bucla secundară se comportă ca o buclă de autoreglaj a perturbațiilor interne ale sistemului. Din această analiză rezultă că procesul informatic pentru conducere trebuie proiectat ca un sistem cibernetic cu două bucle de reglaj. Dacă sistemul este automatizat atunci conducerea se poate realiza cu două bucle mari de reglaj, care leagă producția direct de vîrful piramidei de conducere. În cadrul sistemelor mai puțin automatizate legătura dintre conducere și producție se poate realiza prin lanțuri de procese informatice cu două bucle mici de reglaj. În condițiile actuale de dotări cu tehnica de calcul este necesar ca bucla de reglaj să se închidă la nivelul secțiilor de producție și lună, iar bucla de autoreglaj să se închidă la nivelul locurilor de lucru, urmărindu-se planul decadal pe grupe de operații. Se poate afirma că prin introducerea automatizării se crează condiții pentru apropierea conducerii de producție și pentru simplificarea atît a lanțurilor procesului informatic, cît și a structurii de conducere.

Aplicarea teoriei reglării la conducerea producției implică împărțirea procesului informatic în două subsisteme și anume: subsistemul strategic-tactic (SUST) și subsistemul operativ (SUO). Subsistemul (SUST) se asociază buclei de reglaj, iar subsistemul (SUO), buclei de autoreglaj. În SUST se realizează reglajul pentru activitățile de planificare iar în (SUO) se înfăptuiește reglajul pentru programarea producției. Subsistemul strategic tactic modelează conducerea de la nivelul director general — director tehnic — inginer șef, iar subsistemul operativ modelează conducerea de la nivelul șefilor de secție, a șefilor de atelier și a șefilor de echipă. Legătura dintre SUST spre SUO se face prin defalcarea planului, iar dintre SUO spre SUST, prin

agregarea realizărilor obținute. Aceste subsisteme permit preliminarea închiderii perioadei de plan și defalcarea sarcinilor pe luni, trimestre și pe secții de produse cu ajutorul modelelor de armonizare globală și dinamică pe baza prelucrării datelor la nivel de comenzi și produs. Modelele de armonizare globală (MAG) și armonizare dinamică (MAD) pot fi utilizate și la asigurarea cu resurse a întreprinderii pe calea determinării cantității de aprovizionat. În sistemele cu structură discretă din cadrul industriei constructoare de mașini se urmărește lunar manopera și cheltuielile materiale, respectiv producția netă sub forma valorii nou create. Este știut că producția netă se calculează scăzînd din producția globală cheltuielile materiale. Deci la nivelul unor astfel de sisteme este indicat să se prevadă implementarea procesului integrat de conducere începînd cu punerea în funcțiune a subsistemului SUST. Durata de implementare a subsistemului SUST nu depășește un an, timp după care se poate trece pe calculator activitatea de fundamentare, preliminare, defalcare și urmărire a planului. Subsistemul operativ SUO se poate implementa în circa 30 luni, timp în care se poate cîștiga experiență cu subsistemul SUST. Punerea pe calculator a planificării prin SUST și a subsistemului operativ prin SUO reclamă o bază de date privind: planul în anul de bază și în anul de plan (ce s-a planificat a se produce și ce nivele s-au realizat); consumurile de materiale, energie și combustibil; contractele cu beneficiarii și furnizorii. În baza de date trebuie să figureze valorile producției rezultate din antecalcul. Dacă între valorile antecalculate și cele realizate (postcalcul) există diferențe, atunci se construiește un plan de măsuri, care elimină aceste diferențe. Pentru a preîntîmpina astfel de situații de neconcordanță a datelor din antecalcul și cele din postcalcul se construiește un mecanism operativ de lucru — antecalcul — decizie — postcalcul (ADP) prin care anumite valori sînt urmărite în postcalcul pentru a fi realizate la valorile antecalculate. Valorile antecalculate se revizuiesc la o perioadă de circa cinci ani și constituie baza de normare a activității. Mecanismul ADP este esențial pentru validarea datelor ce urmează a se utiliza în procesul informatic de la nivelul sistemelor industriale de producție. Subsistemul operativ SUO este un instrument de conducere a secțiilor de producție la nivelul cărora se defalcă planul sub forma de program director și se urmăresc grupele de operații la fiecare loc de lucru. Defalcarea planului și urmărirea execuției se face prin intermediul modelelor de armonizare „MAG“ și „MAD“ și cu ajutorul modelului de urmărire „MURC“. Acțiunea de defalcare și urmărire a planului se face la momentul solicitat cu scopul reducerii consumurilor specifice de materiale și energie, inclusiv a reducerii cheltuielililor de manoperă, astfel ca sarcinile stabilite la nivelul subsistemului SUST să se realizeze fără abateri în cadrul subsistemului SUO. Subsistemul SUO furnizează subsistemului SUST datele agregate cu care se operează la nivelul strategico-tactic. Valorile realizate se compară cu cele planificate și se construiesc decizii în cadrul mecanismului „ADP“ pentru ca valorile postcalculate să fie cît mai aproape de cele antecalculate. Modelele utilizate în cadrul subsistemului operativ (SUO) sînt aceleași ca și cele din subsistemul strategic-tactic (SUST), dar operează cu date agregate culese din producție.

Punerea în funcțiune a noului proces tehnologic-informațional se asigură prin respectarea următoarelor reguli: procesul de implementare trebuie să se desfășoare practic în paralel cu elaborarea proiectului noului proces informatic și să fie precedat de analiza procesului informatic existent în întreprindere; implementarea noului proces informatic trebuie să înceapă cu subsistemul strategico-tactic și apoi treptat să se treacă la aplicarea practică a subsistemului operativ. Aceste operații se realizează cu o minibază de date, apoi se trece la lărgirea acestor seturi de informații pînă se cuprinde întreaga activitate din cadrul întreprinderii analizate. Deci la început modelele de armonizare operează cu un număr redus de variabile, iar după obținerea unor rezultate calitative se trece la lărgirea gamei de variabile cu scopul îmbrăcării întregului proces; urmărirea cu prioritate în cazul implementării noului proces informatic a îmbunătățirii mecanismului de defalcare a planului din cadrul întreprinderii analizate și a urmăririi realizărilor la nivelul secțiilor; implementarea noului proces informatic este condiționată de existența urmăririi eficiente a manoperei și a cheltuielilor materiale în secțiile de producție. Prin aceasta se poate verifica dacă bucla de reacție pentru urmărirea realizărilor funcționează cu tactul corespunzător situației precalculate. Dacă această condiție este îndeplinită, atunci conducerea poate stăpîni desfășurarea producției și o poate dirija pe traiectoria dorită. În vederea validării datelor și a informațiilor din fișierele de lucru este necesar să se implementeze cu prioritate mecanismul „ADP", care permite o legătură cu perturbații minime între planurile ca programe directoare și realizările obținute în producție; corelarea modelelor de armonizare globală și dinamică (planificarea și programarea producției) cu modelele de conducere a activităților de aprovizionare-desfacere, pregătirea fabricației, legătura cu beneficiarii și furnizorii trebuie realizată pînă în cele mai mici detalii; procesul de implementare a subsistemelor SUST și SUO trebuie pregătit pe baza măsurilor de organizare și conducere a producției și apoi cele două acțiuni trebuie să se desfășoare practic în paralel.

Începerea procesului de implementare a noului sistem informatic trebuie precedată de raționalizarea fluxului de date din întreprindere, pregătirea codificării produselor, materialelor, locurilor de lucru, grupelor de mașini, manoperele specifice etc. Lipsa unor codificări unice îngreunează prelucrarea datelor pe calculator și poate duce la erori în aprecierea situației analizate. Pentru reușita implementării noului proces informatic trebuie pregătite cadrele de execuție și trebuie să se sensibilizeze cadrele de conducere de la nivelul întreprinderii analizate ca să nu opună rezistență la noile acțiuni de schimbare a fluxului de informații existent în producție. Cadrele din întreprindere trebuie pregătite în vederea cunoașterii, discutării și avizării noului proces informatic. Pregătirea unui nucleu de informaticieni care să lucreze contin uu cu cadrele de conducere la implementarea noului proces informatic trebuie să coincidă cu formarea unui oficiu de informatică la nivelul întreprinderii și trebuie să preceadă proiectarea și implementarea noului proces informatic. Utilizarea și dezvoltarea noului proces informatic trebuie să se bazeze pe un proces continuu de validare statică și dinamică a datelor, atît prin procedee din informatica, cît și prin mecanismul „ADP". Totodată trebuie să se creeze bănci de date ca rezervă care să poată fi utilizate cînd băncile de date originale s-au avariat. Eficiența implementării noului proces informatic depinde

de coordonarea modelelor de armonizare globală cu cele de armonizare dinamică și se cuantifică prin micșorarea cheltuielilor cu materialele și a cheltuielilor cu manopera. Implementarea noului proces informatic trebuie să se desfășoare în versiune iterativă, dîndu-se prioritate mecanismului „ADP". Acțiunea trebuie începută la nivelul strategico-tactic și trebuie continuată la nivelul operativ fiind însoțită de schimbări în schema de organizare și conducere a producției.

Procesul tehnologico-informatic, ca instrument al conducerii, modelează atît sistemul condus cît și mecanismele prin care echipa de conducere construiește și aplică deciziile în producție. Pe baza procesului informatic se cunoaște stadiul curent de desfășurare a producției și se creează baza prognozei procesului de producție prin stabilirea obiectivelor din plan, aprecierea consecințelor unui set de decizii, corectării unor eventuale abateri de la prevederile rezultate din studii de prognoză, privind dezvoltarea producției. Timpul ca resursă a proceselor de analiză, decizie și control este distribuit în mod egal pentru toți conducătorii, dar modul de utilizare a acestui tip de resursă diferă de la un conducător la altul și de la un nivel la altul de conducere.

Eficiența de utilizare a resursei timp depinde de modul în care conducătorii reușesc să transpună în practică planul acțiunilor lor pe durata de timp analizată. Eficiența utilizării timpului de lucru de către conducători depinde de următoarele acțiuni: planificarea timpului pe zile și pe diverse tipuri de activități; stabilirea structurii sarcinilor și a priorităților ce se acordă acestora; precizarea căilor prin care se poate economisi timpul concomitent cu sporirea productivității; organizarea minuțioasă a ședințelor de lucru la toate nivelele ierarhice de conducere; conducerea colectivă ca metodă de creștere a utilizării timpului trebuie aplicată la diverse nivele de organizare a producției. Activitatea de conducere (ac) și activitatea operativă (ap) beneficiază în practica mondială a conducerii sistemelor industrială de următoarea structură de timp: nivel strategic: ($ac = 90\%$) iar ($ap = 10\%$); nivel tactic ($ac = 50\%$); ($ap = 50\%$); nivel operativ ($ac = 25\%$); ($ap = 75\%$).

Una din metodele operative de conducere a sistemelor industriale la care ne vom referi în cele ce urmează este dinamica industrială care făcînd apel la teoria clasică a reglării permite modelarea și optimizarea nivelelor de dezvoltare a fluxului tehnologico-informațional din cadrul sistemelor economico-inginerești.

3.2. Modelele dinamicii industriale aplicate în conducerea sistemelor complexe

Dinamica industrială ca metodă de conducere a sistemelor economico-inginerești permite elaborarea unui model complex de dirijare a structurilor tehnologico-informaționale îmbinînd atît aspectele calitative cît și aspectele cantitative ale problemelor studiate pe baza buclelor de reacție strategică și tactico-operativă. Aceste modele includ două tipuri de variabile și anume: variabile de nivel și variabile de flux-ritm. Pentru a reda corelația dintre aceste clase de variabile de nivel și de ritm (flux) se modelează activitatea

sistemului și se analizează efectele ce apar la desfășurarea proceselor cu ajutorul variabilelor de decizie. Succesiunea de decizii necesară corelării ritmurilor de dezvoltare cu fluxurile de producție formează politica decizională de conducere a sistemului industrial analizat. Concepția și problemele dinamicii industriale se prezintă astfel: concepția dinamicii industriale constă în stabilirea legăturilor sistemice din cauzele și efectele ce condiționează desfășurarea în timp a activității. Această concepție se cuantifică calitativ și cantitativ cu ajutorul modelelor matematice de ritm, de nivel și cu ajutorul modelelor de legătură. Problemele abordabile prin dinamica industrială sînt: comportamentul momentan și de perspectivă al sistemelor, precizarea și ierarhizarea obiectivelor în vederea agregării, respectiv a partiționării lor; determinarea structurii sistemului pe baza variabilelor și a legăturilor dintre acestea; precizarea tipurilor și a conținutului fluxurilor ce străbat sistemul; delimitarea frontierii unui sistem și determinarea punctelor de injecție și rejecție a resurselor în și dinspre mediu; determinarea întîrzierilor care apar între evenimente și decizie; precizarea caracterului de reacție pozitivă sau negativă și influența acestor reacții asupra stabilității sistemului precum și precizarea caracterului homomorf (gradul de fidelitate a modelului cu sistemul modelat) al modelului cu realitatea. Caracterul homomorf al modelului cu realitatea este cu atît mai mare cu cît se alege mai precis structura frontierii sistemului cu mediu și cu cît se definesc mai precis variabile modelului dinamic. Modelele dinamicii industriale avînd caracter cibernetic beneficiază de două categorii de intrări și anume: intrări comandate explicit (numite parametrii sistemului) și intrări comandate implicit care depind de starea sistemului. Pe baza acestor date de intrare-ieșire modelele dinamicii industriale permit determinarea traiectoriei de evoluție a sistemului și înlesnesc corectarea abaterilor pe baza unui algoritm de decizie. Determinarea traiectoriei sistemului se face în baza unui model de prognoză iar corectarea erorii de evoluție se face cu un model de urmărire-control. Astfel se identifică structura sistemului determinată de condiționările dintre cauze și efecte și se transformă informația în acțiune prin decizie cu scopul păstrării traiectoriei dorite de evoluție a sistemului analizat. Structura modelelor dinamicii industriale cuprinde ecuații de nivel; ecuații de ritm care se intercondiționează și ecuații auxiliare sau de legătură care permit aplicarea concepției sistemice la modelarea activității sistemelor de producție.

La nivelul sistemelor industriale apar șase clase de fluxuri interconectate și anume: materiale, comenzi, fonduri, utilaje, forță de muncă și informații. În mod corespunzător apar șase clase de nivele denumite puncte de acumulare, care reglează ritmurile de curgere ale fluxurilor la nivelul întregului sistem. Gradul de organizare a unei întreprinderi depinde de interacțiunea sistemică a fluxurilor, de modul de cuplare a acestora în timp și de optimizarea circulației lor. Pe baza acestor interacțiuni a fluxurilor se pot construi atît strategiile, cît și politicile de conducere momentană și previzională a sistemelor complexe. Modelele dinamicii industriale operează cu următoarele tipuri de ecuații: ecuații diferențiale cînd ieșirile și intrările sistemului sînt continue; ecuații cu diferențe finite, cînd ieșirile și intrările sistemului sînt discrete. Pentru cele două situații întîlnite în practică — dinamica industrială operează cu trei tipuri de relații matematice și anume: ecuații de nivel care cuprind mărimile instantanee ale variabilelor, ecuații de ritm care reflectă

ritmul modificării mărimii variabile și ecuații auxiliare, care exprimă dependența unei variabile de celelalte variabile din procesul modelat.

Ecuațiile de nivel și de ritm ale dinamicii industriale se pot scrie astfel:

$$N_x = N_{x_0} + \int_0^t (R - S)\, dt$$
$$R(k) = \frac{1}{t}[X_{d_k} - X_{r_k}] \qquad (3\text{-}1)$$

în care:

N_x = nivelul căutat; N_{x_0} = nivelul inițial; R = ritmul în care crește nivelul producției; S = ritmul în care scade nivelul producției în perioada ($k = 0 \ldots t$); X_{d_k} = stocul dorit; X_{r_k} = stocul realizat în perioada (k) de producție.

Nivelele se pot calcula numai dacă se cunosc condițiile inițiale. Ritmurile se determină pentru o perioadă (t). Ele formează structura strategiei de conducere bazată pe decizii implicite. Ecuațiile de ritm se pot scrie separat pentru fiecare tip de activitate și pot lua forme specifice legate de adîncirea modelării, caz în care apar sub forma ecuațiilor auxiliare. Dacă stocul dorit depinde de ritmul mediu al desfacerii producției, atunci ecuația comenzilor se leagă de ecuația de stoc printr-o ecuație auxiliară. Curgerile dintre nivele determină existența la nivelul sistemului a unor fluxuri. Cînd sursa unui flux nu exercită nici o influență asupra sistemului se zice că fluxul vine dintr-o sursă infinită. Dacă acumularea unui flux în punctul său final nu influențează sistemul se spune că este vorba de un deversor infinit. O problemă deosebită de coordonare a fluxurilor o formează întîrzierile care se cuantifică sub forma timpilor de așteptare. Întîrzierile exagerate pot perturba sensibil desfășurarea activității la nivelul întregului sistem.

Modelele dinamicii industriale se construiesc pe funcții ale întreprinderii, atît pentru situații momentane, cît și pentru situații de perspectivă. Astfel deosebim: modelele matematice ale funcției de aprovizionare, respectiv desfacere, modele matematice ale funcției de producție cu și fără stoc de așteptare, modele matematice ale funcției de personal, modele matematice ale cercetării-dezvoltării și modele matematice ale activității financiar-contabile. Modelele elaborate pe funcții ale întreprinderii trebuie agregate într-un model sinteză cu una sau mai multe funcții de eficiență și un set reprezentativ de restricții în vederea determinării soluției optime globale de evoluție a sistemelor cercetate.

În concepția dinamicii industriale modelele funcției de producție se pot construi pentru două situații și anume: modelul procesului cu stoc de așteptare și modelul procesului de producție cu desfacere asigurată. Întreprinderile care lucrează cu stoc de așteptare își organizează producția pe comenzi. O parte a comenzilor sosite de la beneficiari este satisfăcută din stocul existent, iar altă parte se satisface din producția curentă. Activitatea de producție cuprinde două fluxuri, unul pentru produsele care merg în stoc și celălalt pentru o parte a comenzilor venite de la beneficiari. Modelul de optimizare a producției comportă o funcție de performanță și un set de restricții. La construirea modelului se ține seama de următoarele restricții: forța de muncă depinde

de comenzi și de aprovizionarea cu resurse materiale și energetice, respectarea ritmului livrărilor și a duratei de fabricație, asigurarea productivității muncii și a producției nete și diminuarea timpului de așteptare. Dacă procesul de producție dispune de resurse excedentare, atunci după satisfacerea comenzilor se trece la formarea unui stoc suplimentar de produse. Schema organizării fluxului tehnologic și informațional la nivelul unui proces de producție cu stoc de așteptare, elaborată pe baza concepției dinamicii industriale se poate urmări pe figura (3.4).

Întreprinderile care lucrează planificat au stocuri de așteptare minime sau nu au stoc de așteptare întrucît producția are asigurată desfacerea. Modelele matematice ale proceselor de producție cu desfacere asigurată comportă o funcție de eficiență și un set operativ de restricții. Prin intermediul restricțiilor se corelează producția cu aprovizionarea și cu nivelul forțelor de muncă. Prin rezolvarea modelelor de producție se determină parametri de prognoză ai planului. Sarcinile ce decurg din plan sînt obligatorii pentru toate compartimentele întreprinderii: aprovizionare, desfacere, producție, personal, financiar-contabil și dezvoltarea producției. Prin plan se corelează sistemic întreaga activitate de producție începînd cu aprovizionarea de resurse și terminînd cu desfacerea produselor finite. În cadrul planului de producție se urmărește corelarea resurselor cu capacitățile de producție și se stabilește volumul producției în funcție de necesități și psosibilități. Produsele prinse în plan trebuie să aibă la bază un contract ferm și trebuie realizate în ordinea de prioritate solicitată de beneficiar, ordine cuprinsă în clauzele contractuale intervenite între producător și beneficiar. În practică există situații cînd cererile de produse, respectiv comenzile beneficiarilor au caracter aleator. Determinarea caracterului aleator al cererilor beneficiarilor se face prin prognozarea solicitărilor și prevederea unor beneficiari potențiali. În această idee se elaborează schema fluxurilor de legătură atît între compartimentele întreprinderii, cît și a legăturilor cu mediu respectiv cu beneficiarii de produse. Schema corelației dintre producția planificată și cererea aleatoare de produse se poate urmări pe figura (3.5).

În această schemă fluxurile tehnologice și informaționale străbat următoarele activități: planificare, aprovizionare, producție, personal, financiar-contabil, desfacere și dezvoltarea sistemului. Legăturile cu exteriorul străbat banca, furnizorii de utilaje și materii prime, beneficiarii și mediul înconjurător (pentru păstrarea nivelului de poluare). Sensul fluxurilor de utilaje, materii prime, comenzi, produse, forța de muncă și de informație este atît din exterior către interior, cît și din interior către beneficiarii de produse finite. Astfel serviciul de planificare primește comenzi de la beneficiarii de produse și emite comenzi atît în interior, către producție și aprovizionare, cît și în exterior pentru utilaje, inclusiv către unitățile de construcții-montaj pentru dezvoltarea capacităților de producție. Aprovizionarea realizează contracte cu furnizorii de materii prime și energetice în conformitate cu sarcinile prinse în planul de producție. Producția este legată de planificare, aprovizionare și uneori direct de furnizorii de utilaje și materii prime și realizează legături directe sau prin serviciul desfacere cu beneficiarii de produse. Serviciul personal asigură producției și celorlalte sectoare forța de muncă necesară fie prin recrutarea din exterior a unui număr de lucrători fie prin recalificarea perso-

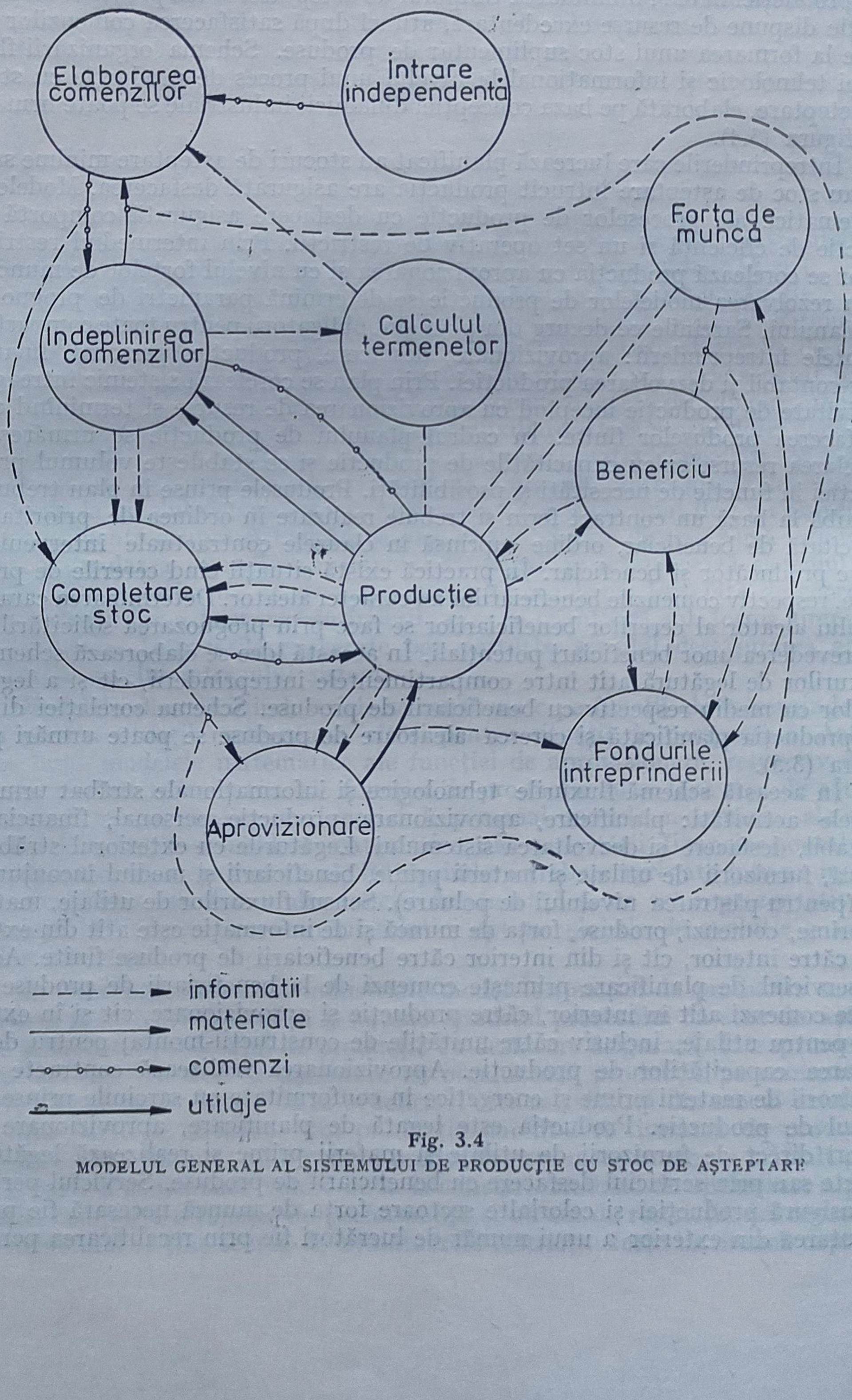


Fig. 3.4

MODELUL GENERAL AL SISTEMULUI DE PRODUCȚIE CU STOC DE AȘTEPTARE

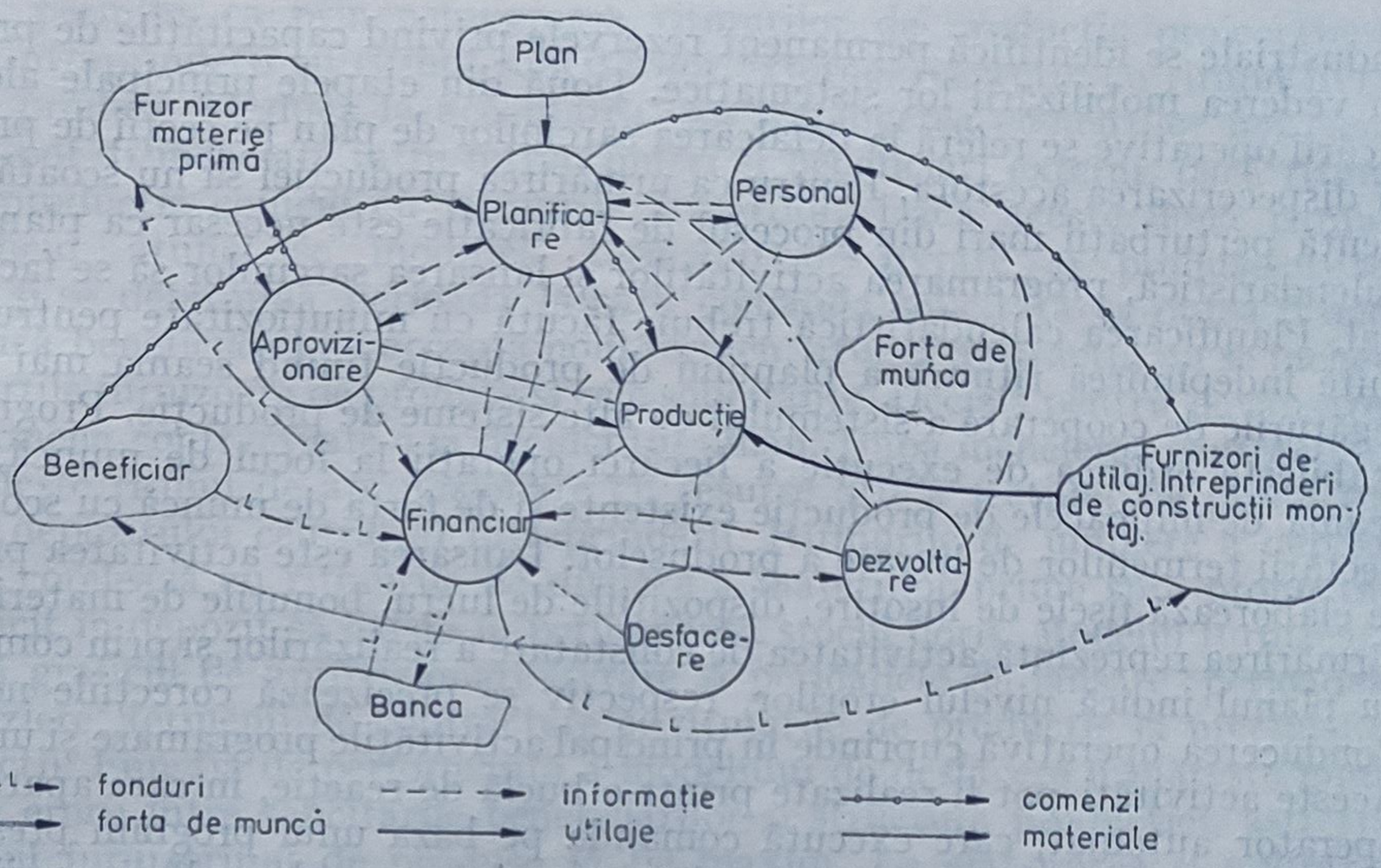


Fig. 3.5

MODELUL GENERAL AL SISTEMULUI DE PRODUCȚIE FĂRĂ STOC DE AȘTEPTARE

nalului existent în întreprindere. Desfacerea primește fluxul de produse finite de la producție și comunică informații privind expediția către serviciile planificare și financiar. Financiarul concentrează toate fluxurile de fonduri bănești, care leagă întreprinderea cu exteriorul și primește informații de la toate celelalte servicii ale întreprinderii pentru a sintetiza întreaga activitate economico-financiară și pentru a stabili nivelul de eficiență a producției. Dezvoltarea asigură întreprinderii informații privind creșterea în perspectivă atît a capacității de producție, cît și a forței de muncă. Astfel se creează în ntreprindere un flux de informații de la serviciul de cercetare-dezvoltare spre producție, privind gradul de extindere a capacităților de fabricație ce rezultă din asimilarea unor noi utilaje, tehnologii și metode noi de muncă. Totodată se crează un flux nou către serviciul de personal, care cuprinde informații despre volumul forțelor de muncă și al lucrătorilor ce trebuie calificați pentru a pune în funcțiune noile capacități de producție.

Pentru organizarea rațională a fluxurilor tehnologice și informaționale de la nivelul întreprinderilor industriale sînt concepute modele dinamice de alocare a capacităților de producție, modele dinamice pentru urmărirea producției, modele dinamice pentru activitățile de desfacere pe baza evaluării cererilor de produse și modele dinamice de creștere a întregii activități de la nivelul sistemelor complexe. Modelul dinamic de alocare a capacităților de producție permite stabilirea corelației optimale dintre furnizorul de produse și cererea beneficiarului. Totodată se poate determina soluția privind dezvoltarea armonioasă a instalațiilor de producție, ținînd seama de investițiile puse la dispoziție și de gradul de folosire a utilajelor. Modelul dinamic de urmărire a producției înlesnește determinarea soluției de conducere operativă a sistemelor industriale și permite urmărirea calendaristică a fabricației, în ideea asigurării unei activități ritmice. Prin conducerea operativă a sistemelor

industriale se identifică permanent rezervele privind capacitățile de producție în vederea mobilizării lor sistematice. Două din etapele principale ale planificării operative se referă la defalcarea sarcinilor de plan pe secții de producție și dispecerizarea acestora. Pentru ca urmărirea producției să nu scoată în evidență perturbații mari din procesul de fabricație este necesar ca planificarea calendaristică, programarea activităților și lansarea sarcinilor să se facă rațional. Planificarea calendaristică trebuie făcută cu minuțiozitate pentru a permite îndeplinirea ritmică a planului de producție ținînd seama mai ales de legăturile de cooperare a sistemului cu alte sisteme de producție. Programarea stabilește ordinea de execuție a fiecărei operații la locul de muncă, ținînd seama de mijloacele de producție existente și de forța de muncă cu scopul respectării termenilor de livrare a produselor. Lansarea este activitatea prin care se elaborează fișele de însoțire, dispozițiile de lucru, bonurile de materiale etc. Urmărirea reprezintă activitatea de constatare a realizărilor și prin comparație cu planul indică nivelul erorilor, respectiv se precizează corecțiile necesare. Conducerea operativă cuprinde în principal activitățile programare și urmărire. Aceste activități pot fi realizate printr-o buclă de reacție, în care apare fie un operator automat, care execută comanda pe baza unui program prestabilit, fie un decident uman care comandă sistemul în sensul anulării erorii dintre planificarea și realizarea producției. Prin eroare se înțelege în general întîrzierea termenului de realizare a producției față de cel planificat. Elementul de decizie de la nivelul urmăririi producției realocă forța de muncă sau capacitate de producție pentru îndeplinirea în termen a sarcinilor de plan, fie prin lichidarea întîrzierii fie prin lansarea în avans a următoarelor comenzi, dacă apar capacități de producție disponibile.

Dacă sistemul condus suferă vreo schimbare a structurii sale atunci conducerea operativă trebuie să-și schimbe automat decizia și să realizeze trei categorii de operații și anume: operații de identificare, ceea ce reclamă determinarea caracteristicilor dinamice ale producției care depind de parametri variabili ai acesteia; operații de sinteză care implică determinarea parametrilor blocului de decizie corespunzători producției în conformitate cu un criteriu ales; operații de execuție, adică implementarea valorilor calculate ale parametrilor blocului de decizie. Elementul de decizie din cadrul unei scheme bloc de decizie detectează erorile din producție, le analizează, le prelucrează și modifică datele utilizate în modelul inițial de programare în vederea corelării capacităților disponibile cu sarcinile de plan și cu scopul utilizării raționale a forței de muncă. Modelul dinamic de urmărire a producției permite estimarea termenului la care se realizează sarcinile de plan și înlesnește determinarea momentelor de lansare a noilor comenzi. Totodată se poate calcula atît necesarul de personal suplimentar pentru secțiile de producție rămase în urmă, cît și numărul de personal disponibil la secțiile aflate în avans de plan. Pe baza acestui calcul se redistribuie personalul existent între secții pînă la echilibrarea ritmurilor de producție, în raport cu termenele planificate de încheiere a comenzilor, la nivelul secțiilor cu același profil tehnologic. Modelul dinamic al activității de desfacere se bazează pe estimarea cererilor de produse și urmărește stabilirea nivelelor de stocuri de produse în întreprinderi cu scopul realizării graficului de livrări. Validarea modelului se face cu ajutorul unei bănci de date, privind ritmul solicitărilor beneficiarilor pe o anumită durată de timp.

Modelul permite ca prin compararea ritmurilor de producție proiectate la nivelul întreprinderii cu ritmul solicitărilor externe, respectiv cu ritmul livrărilor de produse să ducă la acceptarea sau respingerea comenzilor noi. Contractele pot fi încheiate între întreprinderi și beneficiari externi, dacă ritmurile de producție coincid cu ritmurile livrărilor. Dacă aceste două ritmuri nu coincid atunci se modifică termenul de livrare al produselor solicitate și se determină perioada la care comanda solicitată va putea fi onorată. Dacă beneficiarul nu acceptă noul termen, atunci contractul nu se încheie între părțile furnizoare de produse și cele solicitante. Decizia pentru devansarea unor termene contractuale o ia decidentul uman. După încheierea contractului se stabilește ritmul de aprovizionare cu resurse atît a secțiilor de producție, cît și a depozitului central al întreprinderii. Ritmurile de umplere a depozitului se corelează cu ritmurile de dirijare a materiilor prime spre producție, astfel încît în depozit să existe în permanență stocul dorit. Modelul furnizează pe lîngă graficul de aprovizionare-livrare și perioadele de lansare, perioadele de întîrziere, termenii de contractare și ritmurile de producție la nivelul fiecărei secții. Funcția de performanță a modelului de desfacere urmărește minimizarea erorii între solicitările beneficiarilor și structura producției, astfel ca beneficiul furnizorului de produse să fie maxim. La elaborarea și aplicarea modelelor dinamice ale desfacerii se ține seama de atitudinea consumatorului reflectată în modelul de evaluare a cererii. Influența atitudinii consumatorului asupra modelelor desfacerii, respectiv asupra producției se ia în considerație prin probabilitatea de apariție a erorilor între furnizorul și consumatorul de produse. Fiecare eroare este afectată de o probabilitate, care influențează direct funcția de performanță a sistemului de producție. Aceste influențe a consumatorului asupra producției schimbă politica de legătură între furnizor și beneficiar, trecîndu-se de la politica „se vinde ce se produce" la politica „se produce ce se vinde"*, ținînd seama de interesul consumatorului și a sistemului economico-social analizat. Procesul de producție trebuie adaptat la exigențele consumatorului. Această adaptare reclamă o informație precisă, privind atitudinea consumatorului și, respectiv o estimare a tendințelor în domeniul marketingului. Influența atitudinei consumatorului trebuie reflectată în politica de gestiune a stocurilor de produse și a stocurilor de resurse. Un model de desfacere a producției, trebuie să cuprindă atît estimarea necesităților la nivelul consumatorilor prin prognoza cererii cît și estimarea necesarului de resurse pentru acoperirea cererii previzionale de produse în fabricație și de produse noi.

Pentru simularea modelelor dinamicii industriale se recomandă aplicarea programului Dinamo [87] care permite calcularea valorilor fluxurilor prin sistem în funcție de valorile variabilelor de nivel și a variabilelor auxiliare. Se determină mai întîi nivelele de dezvoltare, apoi se cuantifică variabilele auxiliare după care se determină variabilele de flux. Pasul simulării într-un interval de timp predeterminat trebuie stabilit cu acuratețe întrucît un pas prea mare poate duce la erori iar unul prea mic lungește timpul de rulare a programului. Aplicațiile programului Dinamo se referă atît la simularea activității sistemelor industriale cu și fără stoc de așteptare cît și la modelarea acti-

* Numai într-o economie de piață.

vității sistemelor mari. Dintre aplicațiile complexe ale dinamicii industriale cu ajutorul unor programe tip Dinamo reținatenția cele privind modelul Meadows și modelul Mesarovic-Pestel. În ambele aplicații se utilizează modelele dinamicii industriale la simularea activității sistemului mondial sub cele mai esențiale aspecte privind evoluția lui în perspectivă. Din prima aplicație autorii modelului ajung la concluzia că dacă actualele condiții de dezvoltare se mențin, se așteaptă ca la începutul secolului următor sistemul mondial să fie afectat de o gravă criză social-economică și recomandă încetinirea creșterii economice. A doua aplicație arată că premizele crizei economice mondiale poate fi prevenită dacă se recurge la o dezvoltare organică, controlată astfel ca resursele să fie utilizate rațional pe baza unei strategii de conducere optimale.

3.3. Conducerea planificată a sistemelor de energie

Conducerea planificată a sistemelor de energie are ca punct de plecare sarcinile ce decurg din planul dezvoltării întregii economii. În țara noastră planul dezvoltării sistemului național de energie este parte inseparabilă a planului național unic și se realizează atît sub forma planurilor curente (anuale) cît și a planului de perspectivă (decenal). Fundamentarea elaborării planului național unic de dezvoltare a economiei naționale se poate urmări în schema figurii (3.5 a).

Etapele de elaborare a planului național unic la nivelul întreprinderilor, centralelor industriale, ministerelor și sarcinile ce revin la formularea concepției de plan se prezintă sintetic în schema figurii (3.6).

Pentru transpunerea în practică, după aprobare, a planului de dezvoltare a sistemului național de energie trebuie avut în vedere atît structura sistemului de conducere al ramurii energiei electrice și termice (REET) cît și complexul de activități din structura Ministerului Energiei Electrice (MEE). Aceste structuri se pot urmări pe schemele figurilor (3.7) ab.

Planul național unic după aprobare capătă caracter de directivă. El cuprinde capitole de ramură care reflectă dezvoltarea sub toate aspectele a economiei și capitole de sinteză care se referă la anumite aspecte ale reproducției. Capitolele de ramură asigură proporțiile iar capitolele de sinteză redau corelațiile dintre elementele reproducției astfel ca economia de resurse să fie maximă. Capitolele de sinteză cuprind următoarele secțiuni: planul cercetării științifice; planul dezvoltării tehnice; planul investițiilor; planul aprovizionării tehnico-materiale și al desfacerii producției; planul forțelor de muncă și retribuții; planul cheltuielilor de producție și planul financiar concretizat sub forma bugetului de venituri și cheltuieli. Planul de la nivelul ministerului economic (MEE) diferă de planul ramurii industriale întrucît o parte din sarcini din planul ramurii revine altor ministere dar coordonator de plan rămîne ministerul tutelar. Indicatorii de plan se clasifică astfel: indicatori cantitativi și calitativi; indicatori naturali și valorici; indicatori supuși aprobării și indicatori de calcul. Elaborarea indicatorilor de plan se face în baza normelor privind conținutul muncii; folosirea utilajelor și a suprafețelor de producție precum și utilizarea rațională a tuturor resurse

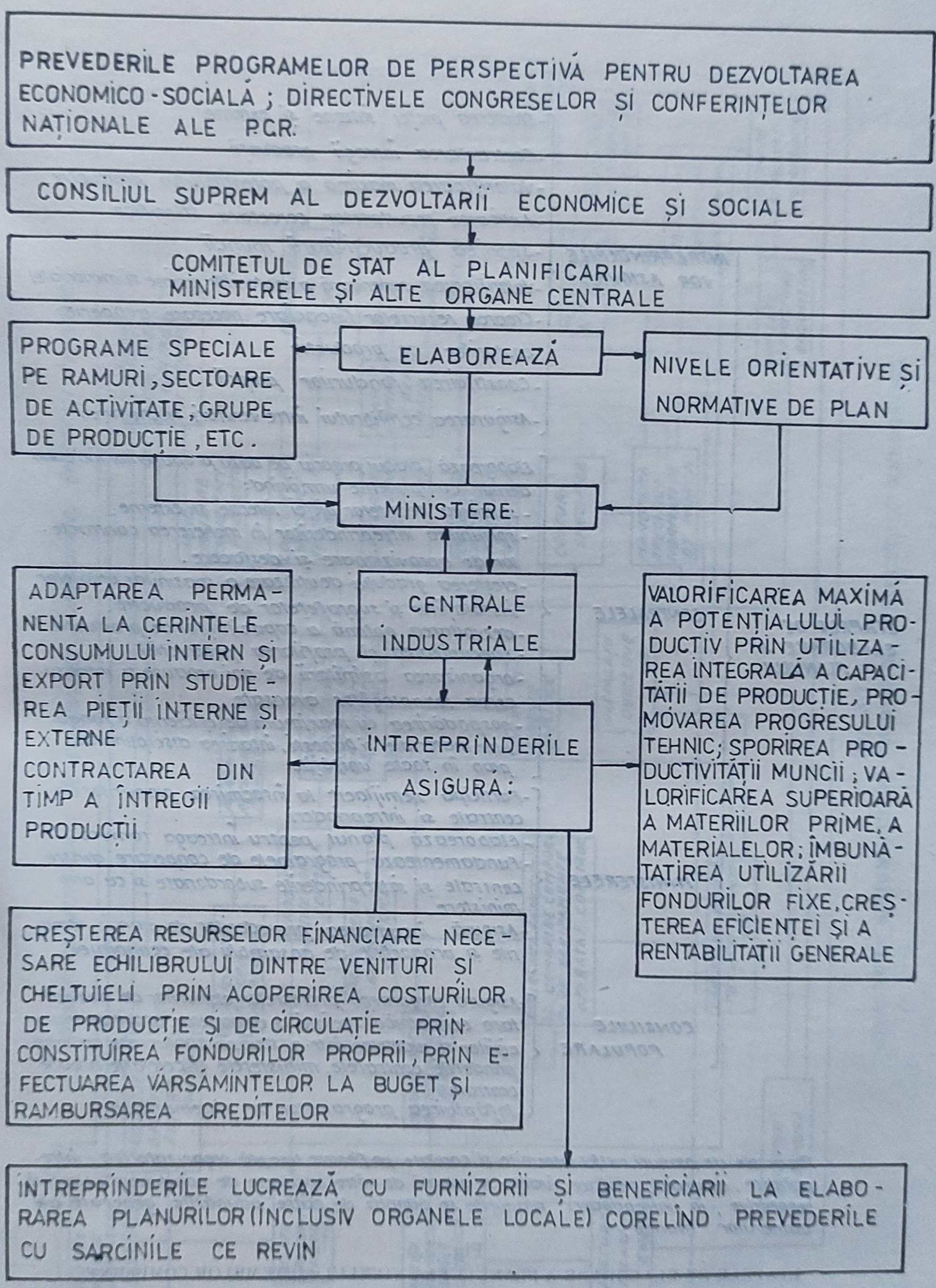


Fig. 3.5 a

SCHIȚA ELABORĂRII PLANULUI NAȚIONAL UNIC DE DEZVOLTARE ECONOMICO-SOCIALĂ A UNUI SISTEM INDUSTRIAL AGREGAT

ETAPELE DE ELABORARE A PLANULUI

INTREPRINDERILE VOR ASIGURA:
- -Studierea pieței interne și externe
- -Contractarea întregii producții
- -Valorificarea maximă a potențialului productiv
- -Aplicarea rezultatelor cercetării științifice
- -Sporirea productivității muncii
- -Valorificarea superioară a materiilor prime și materialel.
- -Crearea resurselor financiare necesare acoperirii costurilor de productie
- -Constituirea fondurilor proprii.
- -Asigurarea echilibrului între venituri și cheltuieli.

CENTRALELE
- Elaborează planul propriu pe baza propunerilor intreprinderilor componente urmărind:
- -studierea cerintelor pieței interne și externe.
- -sprijinirea intreprinderilor în incheierea contractelor de aprovizionare și desfacere.
- -creșterea gradului de utilizare a mașinilor, utilajelor, instalațiilor și suprafețelor de productie.
- -dezvoltarea optimă a capacităților de producție
- -specializarea și profilarea producției
- -organizarea asimilării de noi produse și introducerea tehnologiilor avansate
- -gospodărirea cu maximum de eficiență a fondurilor materiale și bănești, întărirea disciplinei de plan în toate unitățile

MINISTERELE
- -Participă nemijlocit la întocmirea planurilor în centrale și intreprinderi
- -Elaborează planul pentru intreaga ramură
- -Fundamentează programele de cooperare dintre centrale și intreprinderile subordonate și cu alte ministere.
- -Asigură încadrarea prevederilor de plan în ritmurile și proporțiile de ansamblu ale economiei

CONSILIILE POPULARE
- -Asigură elaborarea proiectelor planurilor de dezvoltare economico-socială a comunelor, orașelor, municipiilor și județelor într-o strînsă conlucrare cu intreprinderile, centralele, ministerele și celelalte organe centrale
- -Înfăptuirea programelor de sistematizare.

Proiectele de planuri, astfel întocmite și corelate pe fiecare treaptă organizatorică - intreprindere, centrală, minister, județ - se adoptă de către organele de conducere colectivă respective; în intreprinderi planurile se adoptă de către adunările generale ale oamenilor muncii.

Fig. 3.6.

ETAPELE DE ELABORARE A PLANULUI LA NIVELUL SISTEMELOR COMPLEXE

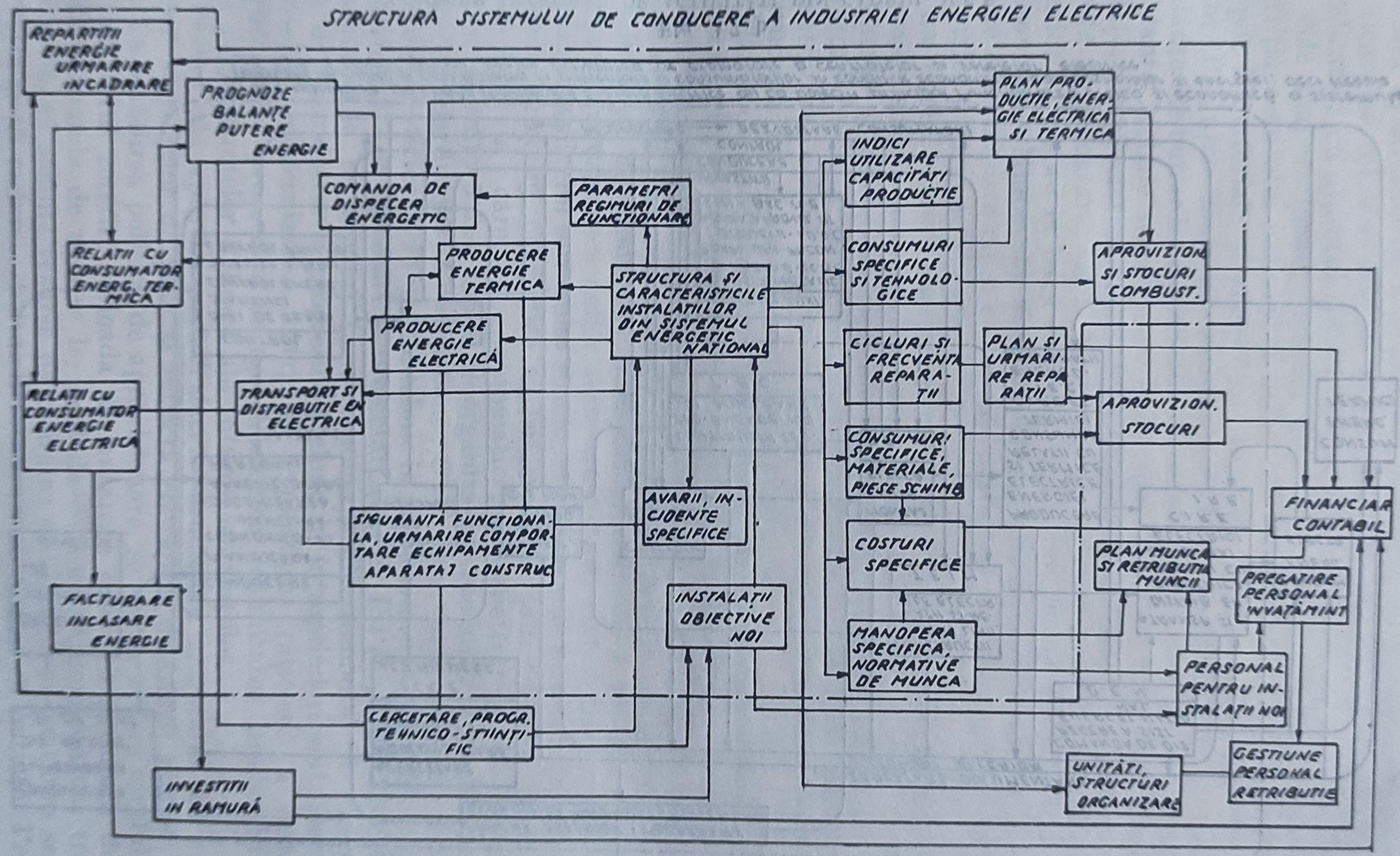


Fig. 3.7. a

STRUCTURA SISTEMULUI DE CONDUCERE A INDUSTRIEI ENERGETICE

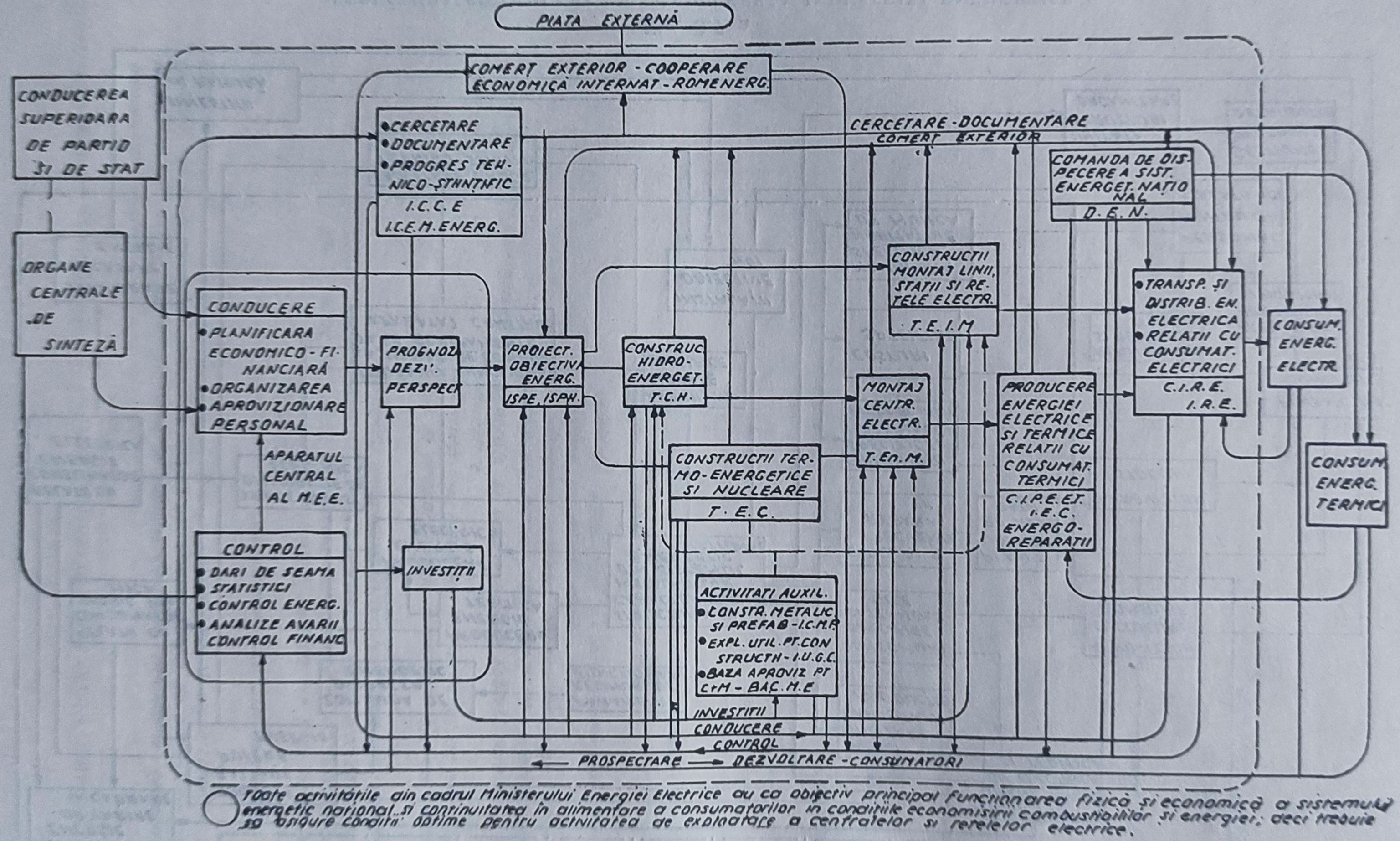


Fig. 3.7. b

COMPLEX INTEGRAT DE ACTIVITĂȚI DIN CADRUL M.E.E

lor. Elaborarea planurilor de perspectivă se face pe baza teoriei prognozei reflectată în studiile de dezvoltare a ramurilor și a economiei naționale. În planificare se folosesc adesea balanțele. Prin balanță se înțelege un sistem de indicatori cu ajutorul cărora se compară resursele cu necesitățile și se găsesc cele mai raționale legături dintre producție, consum — acumulare — repartiția venitului național și utilizarea rațională a forței de muncă. Balanțele pot fi materiale și energetice; balanțe valorice și balanțe ale resurselor umane. Balanțele materiale se împart în balanțe ale mijloacelor de producție și balanțe ale bunurilor de consum. Resursele (R) și necesarul (N) care se prind în balanțe trebuie stabilite pe baza unor calcule riguroase. În funcție de corelația resurselor cu necesarul deosebim: balanțe echilibrate ($R=N$); balanțe excedentare ($R > N$) și balanțe deficitare ($R < N$). Modelele matematice care stau la baza balanței legăturilor dintre ramuri sînt concepute de Leontief — Mincovsky și se elaborează atît ca balanțe statice respectiv dinamice deterministe cît și ca balanțe statice și dinamice probabiliste pentru materiale și pentru energie.

La nivelul ramurii energiei electrice și termice (REET) planul dezvoltării economico-sociale a unităților componente (CIPEET; CIRE; întreprinderi de centrale și rețele electrice) are următoarele secțiuni: planul de cercetare-dezvoltare; planul de aprovizionare-desfacere; planul de producție-transport-utilizare; planul resurselor umane și planul cheltuielilor totale reflectat în structura bugetului de venituri și cheltuieli.

Planul de cercetare-dezvoltare reflectă strategia dezvoltării noilor obiective energetice și modernizarea instalațiilor în funcțiune. Problemele prioritare de cercetare se referă la: asigurarea ramurii cu utilaje de înaltă tehnicitate în condiții economice avantajoase; penetrarea în energetică a celor mai noi tehnologii de producere, transport și utilizare a energiei; descoperirea și punerea în valoare a noilor surse energetice; cibernetizarea activității de organizare la nivelul întregului sistem, etc. Direcțiile prin care progresul tehnic pătrunde rapid în energetică se pot sintetiza prin relațiile ($2\,A + 3\,S$) și ($2\,C + 3\,E$) în care: A = automatizare-cibernetizare; A = energia atomică (nucleară); $3\,S$ = forme de organizare a producției (specializare; specificare; standardizare); C = cărbune; C = conservarea energiei; $3\,E$ = energie, ecologie eficientă. Progresul tehnic în proiectare și montaj este impulsionat de institutele de cercetări și proiectări (ISPE, ISPH; ICEMENERG) și de întreprinderile de montaj (Energomontaj, Electromontaj și Energoutilaj). Căile de introducere a progresului tehnic în întreprinderi sînt: electrificarea proceselor, modernizarea utilajelor, exploatarea rațională a instalațiilor; cibernetizarea proceselor energotehnologice; chimizarea producției și ridicarea performanțelor tehnice ale tuturor instalațiilor.

Planul de aprovizionare-desfacere urmărește asigurarea cu resurse a tuturor secțiunilor de plan și reflectă concepția desfacerii producției realizate. La stabilirea politicii de aprovizionare, se are în vedere nivelul stocurilor, caracterul cererii; perioada de lansare a comenzii și durata după care sosește comanda de resurse la locul de consum. Aprovizionarea trebuie să fie ritmică, să asigure resurse de calitate; să alimenteze continuu secțiile de producție și să reclame cheltuieli totale cît mai mici cu putință. Prevenirea ruperii stocurilor se face corelînd cererea cu disponibilul de resurse și asigu-

rînd un stoc corespunzător de siguranță. Stocarea resurselor antrenează cheltuieli de circa 30% din valoarea resurselor depozitate în cursul unui an. Aceste cheltuieli se pot reduce pe baza optimizării resurselor disponibile cu cererea făcîndu-se în prealabil un calcul exact al necesarului de resurse în cazul cererii aleatoare. Dacă gestiunea stocurilor se realizează cu ajutorul programelor de calculator tip „IMPACT" se obțin economii de 20% și, în plus, penuria se reduce cu 60%, chiar în cazul reducerii nivelului de resurse stocate cu 50% față de o aprovizionare neasistată de calculator. Desfacerea planificată a produselor decurge normal dacă fabricația are la bază contracte încheiate în prealabil cu beneficiari siguri. Încheierea contractelor presupune, în probleme de desfacere, studiul problemelor de marketing industrial și asigurarea unor corelații optime între producătorul de bunuri și beneficiarul acestora.

Planul de producție a unui sistem de energie se elaborează pe unități de producere, transport și distribuție și se corelează la nivelul întregului sistem. Conform mecanismului economico-financiar, principalii indicatori ai planului de producție sînt: producția netă; producția fizică; producția marfă și producția globală. Producția netă ca valoare nou creată se calculează scăzînd din producția globală cheltuielile materiale. Ea cuprinde: partea din valoarea nou creată prelevată pentru fondul de dezvoltare a societății; retribuțiile directe ale personalului muncitor și alte drepturi bănești ale oamenilor muncii inclusiv impozitul pe retribuții și contribuția pentru asigurări sociale; cheltuielile pentru fondul de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și introducerea progresului tehnic și alte elemente cum ar fi beneficiul net și valoarea muncii vii cuprinsă în cheltuielile generale. Producția fizică reprezintă cantitatea de produse efectiv realizată la parametrii calitativi corespunzători cu cei proiectați. Producția marfă este constituită din produsele ce se livrează beneficiarilor după ce din producția globală s-au scăzut consumurile proprii tehnologice ale sistemului de producție analizat. La nivelul unei întreprinderi de electrocentrale acești indicatori se definesc astfel: Producția globală a centralei reprezintă energia ce se obține la bornele generatoarelor. Producția marfă rezultă scăzînd din producția globală a centralei consumul propriu tehnologic. La nivelul sistemului energetic producția globală este formată din suma producțiilor marfă ale centralelor din sistem. Producția marfă a sistemului se obține scăzînd din producția globală consumul propriu tehnologic în rețele.

Producția netă se calculează cu relații de forma:

$$P_n^a = (P_G^a - C_m^a) = (VPS + VFCDIT + RPM + IFR + AEPN)^a$$

$$P_G^{cp} = P_f + S_{fp} + P_t + L_t + P_c + (S_2 - S_1) + (N_2 - N_1);$$

$$C_m^{cp} = M_p + C + A + A_m + (N_{m_2} - N_{m_1}) + (C_{a_2} - C_{a_1})$$

$$P_G^{cm} = P_t' + N_2 - N_1; \quad C_m^{cm} = M + E + C + A + A_m \qquad (3\text{-}2)\,a$$

$$P_{G_1}^{ex} = E_{max\,max}; \quad P_{G_2}^{ex} = E_{max}; \quad P_{G_3}^{ex} = E_{ef}$$

$$C_{mat_1}^{ex} = c_c B_1 + C_{1m}; \quad C_{mat_2}^{ex} = c_c B_2 + C_{2m};$$

$$C_{mat_3} = c_c \cdot B_3 + C_{3m}$$

în care:

P_n^g = producția netă sub forma ei cea mai generală; P_g^g = producția globală sub forma ei generală. C_m^g = cheltuielile materiale sub forma lor generală; VPS = valoarea pentru societate din producția netă realizată; $VFCDIT$ = = valoarea fondurilor de cercetare, dezvoltare tehnologică și introducerea progresului tehnic; RPM = retribuția personalului muncitor; IFR = impozitul pe fondul de retribuții; $AEPN$ = alte elemente ale producției nete; P_G^{cp} = producția globală în sectorul cercetare-proiectare; P_G^m = producția globală în sectorul construcții-montaj; $P_{G_1 \ldots_3}^{ex}$ = producția globală în sectorul exploatare; P_f = valoarea produselor finite; S_{fp} = valoarea semifabricatelor din producție proprie livrate; P_t = valoarea obiectelor de plan tehnic terminate și livrate; L_i = valoarea lucrărilor (serviciilor) cu caracter industrial terminate executate pentru alte unități, inclusiv pentru sectorul de investiții și alte sectoare ale unității producătoare; P_c = valoarea prelucrării materiilor prime și materialelor clienților exclusiv valoarea materialelor aduse de clienți, $(S_2 - S_1)$ = creșterea sau descreșterea stocurilor semifabricatelor și combustibililor din producție proprie inclusiv SDV-uri, $(N_2 - - N_1)$ = creșterea sau descreșterea valorii stocurilor de producție neterminată pentru produse al căror ciclu de fabricație depășesc 30 de zile. În calculul producției neterminate se iau în considerație și reparațiile capitale ale utilajelor și mijloacelor de transport, efectuate cu forțe proprii, care depășesc 30 zile.

În calculul producției globale nu se iau în considerație valoarea semifabricatelor și pieselor de schimb, care se includ în producția marfă prin excepție și valoarea reparațiilor capitale ale utilajelor de producție, executate cu forțe proprii; P_t = producția terminată (lucrări de bază și organizare de șantier); N_2 = producție neterminată la sfîrșitul perioadei; N_1 = producție neterminată la începutul perioadei; M_p = materii prime, materiale de bază și auxiliare din afară din care se scad deșeurile recuperabile; C = combustibil, energie și apă din afară; A = amortizarea mijloacelor fixe; A_m = = alte elemente ale cheltuielilor materiale (serviciile pentru executarea programelor la calculator, servicii PTTR, executate de alte unități, lucrările de cercetare-proiectare pentru producție executate în afara unității, chiriile pentru mijloacele închiriate); $(N_{m_2} - N_{m_1})$ = diferența dintre soldurile la începutul și sfîrșitul perioadei; $(C_{a2} - C_{a1})$ = diferența cheltuielilor de anticipație între sfîrșitul și începutul perioadei; M = materiale de bază, prefabricate, cheltuielile de transport dacă aceste materiale se aduc de terți la care se adaugă cheltuielile de încărcare-descărcare, inclusiv uzura obiectelor de inventar și a celor de protecția muncii plus valoarea echipamentului de lucru preluat din afară; $(E + C)$ = cheltuieli cu energia și combustibilul din afară, reclamate de desfășurarea normală a procesului de producție; A = amortizarea mijloacelor fixe din dotarea unității, inclusiv amortizarea investițiilor care sînt asimilate mijloacelor fixe; A_m = alte cheltuieli materiale (chirii pentru mijloacele fixe închiriate, cheltuieli pentru documentare, lucrările de reparații de orice fel executate de terți, apa potabilă primită din afară, cheltuielile materiale de birou, lucrările de cercetare-proiectare executate pentru montaj de terți și cele de protecția muncii executată pentru montaj de terți

și cele de protecția muncii executate în afară). Energiile produse de centralele electrice ale sistemului se calculează astfel:

$$E_{max\,max} = P_i \cdot t_c; \quad E_{max} = P_i \cdot t_{ef}; \quad E_{ef} = K_{ints} \cdot P_i t_{ef}; \qquad (3\text{-}2\ b)$$

$K_{ints} = P_{ef}/P_i$; $E_{ef} = P_{ef} \cdot t_{ef}$; P_i = puterea instalată; t_c = = 8 760 ore/an; $t_{ef} = t_c - t_i$; t_i = timpul de întreruperi; K_{ints} = indicele intensiv de utilizare a capacității de producție; P_{ef} = puterea efectiv produsă de grupuri. $C^{ex}_{mat_{1\ldots3}}$ = cheltuielile materiale la nivelul exploatării (ex), pentru realizarea producțiilor $E_{max\,max}$; E_{max} și E_{ef}; c_c = costul combustibilului; $B_{1\ldots3}$ = cantitățile de combustibil necesare producerii energiilor ($E_{max\,max}$; E_{max} și E_{ef}); C_{1m}; C_{2m}; C_{3m} = cheltuielile materiale pentru piese de schimb, chimicale, uleiuri și alte materiale auxiliare necesare desfășurării producției de energie în centralele electrice ale sistemului energetic.

Modelul matematic al planului de producție în concepție sistemică are următoarea structură:

$$Z_{tac} = \left[\sum_i (1 + p_n)^{-i} \sum_k (c_{ik} t_{ik} + i_{sp_k})\, x_{ik} - R_{tac}\right] = minim$$

$$\sum_i (1 + p_n)^{-i} \left[\sum_k (a_k x_k - x_{ak})\right]_i = P^k_{gs}$$

$$\sum_i (1 + p_n)^{-i} \left[\sum_k (b_k x_k - x_{bk})\right]_i = P^k_{vs} \qquad (3.3)$$

$$\sum_i (1 - p_n)^{-i} \left[\sum_k t_k (x_k - x_{ck})\right]_i = E^k_{vs}$$

$$\sum_i (1 + p_n)^{-i} \left[\sum_k i_{sp_k} (x_k + x_{dk})\right]_i = I^k_t$$

în care: Z_{tac} = cheltuielile totale actualizate pe perioada (i) pentru categoriile de instalații (k); p_n = coeficientul de eficiență economică; c_{ik} = costul energiei care trebuie produsă în perioada (i) de către instalația (k); t_{ik} = durata de funcționare a agregatelor; i_{sp_k} = investiția specifică pentru instalația de tipul (k); x_{ik} = puterea ce urmează a se instala în sistem în perioada (i) prin grupuri de tipul (k); R_{tac} = valoarea remanentă a instalației la dezafectare. Coeficienții a_k; b_k reprezintă ponderile fiecărui tip de instalații la acoperirea puterilor garantate (P^k_{gs}) și a puterii de vîrf (P^k_{vs}) cu ajutorul treptelor de putere (x_k) din cadrul centralelor noi; t_k = durata de funcționare a treptei de putere (x_k); x_{ak}; x_{bk} = pierderile de putere la nivelul celor două regimuri restrictive pentru asigurarea puterii garantate și pentru acoperirea puterii la vîrful sistemului; x_{ck} = pierderea de putere pentru regimul de producere la vîrf a energiei E^k; $i_{sp_k} x_{dk}$ = investiția ce se poate economisi printr-o organizare rațională a montajului și a proiectării prin metode bazate pe teoria grafurilor; I^k_t = investiția totală pentru realizarea întregului program de producție. Dacă lucrările de realizare a acestui program de investiții în vederea asigurării unei anumite cote de putere și energie în sistem se eșalonează numai

pe durata unui an atunci funcţia de eficienţă a modelului de optimizare are forma cheltuielilor anuale de calcul.

După realizarea acestui program, planul de producţie devine operativ şi se poate continua activitatea de exploatare a instalaţiilor la parametrii proiectaţi, dacă se determină la nivelul fiecărei unităţi din sistem în fiecare etapă şi regim caracteristic de lucru, treptele de putere, indicii de utilizare şi capacităţii de producţie, modul de exploatare a instalaţiilor la nivelul surselor primare, la nivelul centralelor şi staţiilor din sistem şi la nivelul consumatorilor industriali şi similari şi se iau măsuri de creştere a performanţelor tehnico-economice a întregului sistem. Treptele de putere în cadrul unităţilor furnizoare şi a celor consumatoare din sistemul energetic se determină (după ce instalaţiile au ajuns la maturitate) cu relaţii de forma:

a) *Centrale electrice*

$$P_{tc} = \sum_k P_{tgk}; \quad P_{tg} = P_{tmp} \cdot \eta_g; \quad P_{dc} = \sum_k P_{dgk};$$

$$P_{dgI} = P_{dmp} \cdot \eta_g; \quad P_{dgII} = S_d \cos\varphi \tag{3-4}$$

$$P_{uc} = P_{dc} - P_{rep}; \quad P_{po} = P_{uc} - P_{rst}; \quad P_{ind} = P_s + P_{uz} + P_{td}$$

$$P_{inu} = P_{rep} + P_{lu}$$

b) *Sistem energetic*

$$P_{tmed} = \frac{1}{tc} \cdot \sum_j P_{tj} t_{tj}; \qquad P_{dmed} = \frac{1}{tc} \sum_j P_{dj} t_{dj};$$

$$P_{umed} = \frac{1}{t_C} \sum_j P_{uj} t_{uj}; \quad P_{vs} = s \cdot \sum_c P_{cv}; \quad P_{max} = aP_{vs}$$

$$P_{sol} = \frac{U^2}{Z_c}; \quad R_t = (P_{umed} - P_{pmed}) = R_{arp} + R_{rfp} + R_{\blacksquare} + R_{rp} + R_{bal}$$

c) *Consumatori industriali şi similari*

$$P_t = \frac{c_{sp_e} \cdot P_{pl}}{t_p}; \quad P_e = p_0 S; \quad P_e = C_{cer} P_t; \quad P_e = aP_{nx} + bP_n$$

$$P_e = (aP_{nx})_{max} + (b_t P_{nt}); \quad P_e = c_m \cdot P_{med} = c_m \cdot \frac{E_{ef}}{t_{ef}}$$

$$P_{es} = P_{med} + (1{,}73 \ldots 2{,}5)\,\sigma_t = (C_{at} + C_{ot})\,P_n; \quad Q_n = P_n \operatorname{tg}\varphi$$

Indicii de utilizare a capacității de producție se determină la nivelul întreprinderilor furnizoare de energie, la nivel de sistem și la nivelul întreprinderilor industriale cu ajutorul următoarelor tipuri de relații:

a) *Întreprinderi de centrale electrice*

$$K^r_{ext}\% = \frac{E_{max}}{E_{max\,max}} \cdot 100; \qquad K^r_{ints}\% = \frac{E_{ef}}{E_{max}} \cdot 100;$$

$$K^r_{intg}\% = \frac{E_{ef}}{E_{max\,max}} \cdot 100$$

$$K^a_{ext} = \frac{E_{max}}{P_i} = t_{ef}; \qquad K^a_{ints} = \frac{E_{ef}}{t_{ef}} = P_{ef};$$

$$K^a_{intg} = K^a_{ext} \cdot K^a_{ints} = E_{ef}$$

b) *Sistem energetic*

$$a = \frac{E_{ef}}{t_c \cdot P_{pv}} = \frac{P_{pmc}}{P_{pv}} = \frac{P_{pmc}}{s\sum_c P_{cv}} > K^r_{intg} \qquad (3\text{-}5)$$

$$s = \frac{P_{vs}}{P_{cv}}; \qquad t_{u_i} = \frac{E_{ef}}{P_i} = K^r_{intg} \cdot t_c; \qquad t_v = \frac{E_{pv}}{P_{pv}} = a \cdot t_c$$

$$f_{rez} = \frac{P_{reu}}{P_{pv}} = \left(\frac{P_{ev}}{P_{pv}} - 1\right); \qquad f_{red} = \frac{P_i - P_{dv}}{P_i} = (1 - \gamma_r \cdot \gamma_d \cdot \gamma_i)$$

c) *Întreprinderi consumatoare de energie*

$$c_{up_s} = \frac{P_{med}}{P_i}; \qquad c_{up_{gs}} = \frac{P_{abs}}{P_f} \cdot \frac{t_{conectare}}{t_{ciclu}};$$

$$c_f = \frac{I_{med_p}}{I_{med}} = \frac{S_{med_p}}{S_{med}}; \qquad c_m = \frac{P_c}{P_{med}}; \qquad c_{inc} = \frac{P_{abs}}{P_f};$$

$$c_{cer} = \frac{P_c}{P_t} = c_m \cdot c_{up_s}; \qquad c_{ump} = \frac{P_{med}}{P_{max}}; \qquad c_s = \frac{P_{max}}{\sum_{ci} P_{cv_{ci}}};$$

$$t_{uc} = \frac{E_{an}}{P_c}; \qquad \tau = \frac{I^2_{med_p}}{I^2_{med}} \cdot t_c$$

în care: P_{ic}; P_{ac} = puterile instalate, respectiv disponibile la centrale noi. În cazul centralelor care prezintă uzuri și strangulări, puterea disponibilă se calculează luîndu-se în considerație efectul pe care-l are instalația la momentul considerat. Puterile disponibile ale grupurilor se aleg comparînd $P_{dgI} \gtrless P_{dgII}$ și se acceptă ca putere disponibilă cea mai mică valoare în cazul $\cos \varphi = 1$, P_{imp}; P_{amp} = puterea instalată, respectiv disponibilă a motoru-

lui primar; η_g = randamentul generatorului. P_{dg}; P_{ig} = puterea disponibilă, respectiv cea instalată la nivelul grupului; P_{uc} = puterea utilizabilă la nivelul centralei. Dacă grupurile și cazanele din centrală prezintă uzuri și strangulări atunci puterea utilizabilă se determină ținînd cont de cantitatea de aburi pe care o poate livra secția de cazane și de puterea pe care o poate livra grupul la încărcarea maximă-admisibilă; P_{rep} = puterea grupurilor în reparație se calculează ținînd cont de agregatele care sînt scoase din funcțiune. Efectul reparațiilor se determină luînd în considerație surplusul de abur existent în centrala cu care se pot supraîncărca la vîrf grupurile în funcțiune, ceea ce duce la o creștere a puterii utilizabile în centrală. Deși există o anumită putere în reparație ce nu diminuează direct puterea utilizabilă a centralei ea o influențează indirect prin efectul reparațiilor; P_{pv} = puterea produsă la vîrf P_{rst} = puterea în rezerva statică și turnantă; P_{ind} = puterea indisponibilă formată din indisponibilitățile datorită strangulărilor (P_s), uzurilor (P_{uz}) și condițiilor locale la nivelul puterii disponibile (P_{ld}); P_{inu} = puterea inutilizabilă; P_{lu} = reducerea de putere utilizabilă datorită condițiilor locale (apa insuficientă de răcire, înfundarea condensatoarelor la turbină, temperatura apei și a mediului peste cele prevăzute în documentația de proiectare etc.): $P_{i\text{med}}$; $P_{d_{\text{med}}}$; $P_{u_{\text{med}}}$ = puterile medii instalate (i), disponibile (d) și utilizabile (u) la nivelul sistemului în decursul perioadei calendaristice $t_c = 8760$ ore; t_{ij}; t_{dj}; t_{uj} = duratele de funcționare ale treptelor de putere instalată (P_{ij}), disponibilă (P_{dj}) și utilizabilă (P_{uj}); P_{vs} = puterea la vîrful sistemului formată din suma puterilor la vîrf a centralelor; s = indicele de simultaneitate a puterilor consumatorilor la vîrf (P_{cv}); $P_{\max}$ = puterea maximă; a = indicele de aplatisare a curbei de sarcină; P_{nat} = puterea naturală a liniei la care apar consumuri proprii tehnologice optime; U = tensiunea liniei de transport; Z_c = impedanța caracteristică a liniei considerate; R_t = rezerva totală de putere se calculează scăzînd din puterea utilizabilă medie puterea produsă medie la vîrful sistemului. În structura de calcul a acestei puteri de rezervă trebuie cuprinse următoarele puteri: puterea în rezervă pentru acoperirea reducerii temporare de putere, atît în agregatele în funcțiune, cît și a celor noi (R_{arp}), puterea de rezervă pentru reglajul frecvență — putere de schimb denumită și rezervă de sarcină (R_{rfp}); puterea în rezervă pentru efectuarea reparațiilor planificate (R_{rp}); puterea în rezervă pentru preluarea avariilor (R_{av}) și rezerva de balanță sau rezerva de plan (R_{bal}); P_c = puterea activă de calcul necesară unui consumator care funcționează pe durata (t_p) de timp, implică un consum specific (c_{sp_a}) pentru realizarea unei producții (P_{pl}); p_0 = = puterea activă specifică (kW/m²); S = suprafața pe care sînt dispuse receptoarele (m²); c_{cer} = coeficient de cerere; a; b = coeficienți dependenți de caracteristicile consumatorilor; P_{nx} = puterile nominale cele mai mari însumate la nivelul grupelor (x) de motoare; P_n = puterea nominală însumată a tuturor motoarelor din grupa (x); c_m = coeficient de maxim al puterii active corespunzător intervalului de calcul de 30 minute; P_{cs} = puterea maximă de calcul determinată prin metode statistico-probabiliste; σ_t = abaterea medie pătratică a sarcinii determinată ca rădăcina pătrată a dispersiei sar-

cinii $D = \frac{1}{n}\sum_{k}(P_k - P_{med})^2$; c_{us}; c_{et} = coeficienți de utilizare a puterii instalate; Q_n = puterea reactivă necesară compensării factorului de putere; P_n = puterea activă cerută la nivelul consumatorilor examinați. K_{ext}; K_{ints}; K_{intg} = indicii de utilizare a capacității de producție din centrale în procente (r) și în valori absolute (a); $E_{max\ max} = P_i t_c$; $E_{max} = P_i t_{ef}$; $E_{ef} = t_{ef} P_{ef}$ = energiile produse în cele trei regimuri caracteristice de funcționare ale instalațiilor; P_i; P_{ef} = puterea instalată, respectiv puterea efectivă; t_{ef} = durata efectivă de funcționare a grupurilor din centrale; a = indice de aplatisare a curbei de sarcină; P_{pmc} = puterea produsă medie calendaristică; t_{ui}; t_v = duratele utilizării puterii instalate și a puterii de vîrf; P_{reu} = puterea în rezerva efectiv utilizabilă; P_{dv} = puterea disponibilă la vîrf; r_r; r_d; r_i = efectele reparațiilor $\left(r_r = \frac{P_{dv}}{P_{eu}}\right)$; al condițiilor locale $\left(r_d = \frac{P_{ed}}{P_d}\right)$ și efectul uzurii inclusiv strangulările la nivelul instalațiilor $\left(r_i = \frac{P_d}{P_i}\right)$; P_i; P_d; P_{ed}; P_u; P_{eu}; P_{rp}; P_{ld}; P_{lu}; P_{pv}; P_{gn}; P_{gz}; R_t = = treptele de putere într-o centrală electrică, reprezentate prin putere instalată (i), puterea disponibilă (d); puterea efectiv disponibilă (ed); puterea utilizabilă (u); puterea în reparație (rp); reducerile de putere datorită condițiilor locale la nivelul puterii disponibile (P_{ld}) și utilizabile (P_{lu}), la care se adaugă puterea produsă la vîrf (P_{pv}) și la golurile curbei de sarcină P_{gn} (noaptea) și P_{gz} (ziua); R_t = rezerva totală de putere în sistem; c_{ups}; c_{upg} = coeficient de utilizare a puterii instalate la consumatorii individuali (c_{ups}) și în grup (c_{upg}); c_f; c_m = coeficienți de formă (c_f) și de utilizare a puterii medii (c_m); c_{inc}; c_{cer} = coeficienți de încărcare (c_{inc}) și de cerere (c_{cer}); c_{ump}; c_s = coeficient de umplere al curbei de sarcină (c_{ump}) și de simultaneitate la nivelul întreprinderii examinate; t_{uc}; τ = durata de utilizare a puterii active maxime (t_{uc}) și durata echivalentă a pierderilor maxime.

Problemele de bază, privind utilizarea eficientă a capacităților de producție din cadrul unităților ce formează structura unui sistem energetic se pot rezuma astfel:

— ordonanțarea și încărcarea optimă a sarcinilor pe agregate trebuie coordonate atît la nivelul furnizorului, cît și la nivelul consumatorului de energie, inclusiv la nivelul lanțurilor energetice. La nivelul furnizorului de energie pornirea și încărcarea economică a agregatelor se face pe bază de program de către dispecerul energetic național, care coordonează activitatea pe întregul sistem energetic;

— coordonarea producției cu consumul trebuie făcută astfel încît pierderile de resurse și consumurile proprii tehnologice la nivelul fiecărei întreprinderi și pe sistem să fie optime. Această problemă trebuie urmărită sistemic de la sursă la ultimul consumator.

— Organizarea activităților atît la nivelul sistemului cît și la nivelul energeticii industriale trebuie să permită obținerea economiilor planificate.

la energie și combustibil, prin crearea unor noi posibilități de creștere a efectului util al energiei la nivelul fiecărei instalații în general și la consumator în mod special.

— Problemele de la nivelul întreprinderilor consumatoare de energie care se leagă direct de planul de producție la nivelul sistemului sînt în principal următoarele: aplatisarea curbelor de sarcină, înlocuirea utilajelor supradimensionate, evitarea golurilor tehnologice, compensarea factorului de putere, valorificarea resurselor interne și alegerea schemelor optime de alimentare cu energie de calitate a tuturor consumatorilor.

Aplatisarea curbelor de sarcină se face atît cu ajutorul consumatorilor tampon cît și prin echilibrarea consumurilor pe cele trei schimburi de lucru ale întreprinderii. Prin consumator tampon se înțelege o instalație industrială care absoarbe energie doar în afara orelor de vîrf și uneori o pune la dispoziția sistemului la vîrful de consum. Consumatorii tampon permit reducerea atît a puterii de vîrf a sistemului, cît și a investițiilor din ramura extracției combustibilului care se utiliza la acoperirea cererii de energie la vîrf. Eficiența economică a consumatorilor tampon se determină cu ajutorul următoarelor relații:

$$t_{r_c} = \frac{I_{c_s} - I_{c_t}}{C_{c_t} - C_{c_s}} \gtrless t_{r_n} = (12{,}5 \ldots 16{,}6) \text{ ani}$$

$$Z_{t_c} = C_{c_t} + p_n I_{c_t} = \sum_i C_{cti} + p_n i_{sp}^{ct} P_{ct}(1 + f_{rez}) \frac{(1 + p_{rs})}{(1 + p_{si})} + \tag{3-6}$$

$$+ p_n I_{ech} = \text{minim}; \quad Z_{tac} = (b_{tac} Z_{tc} - R_{tac})$$

$$P_m^{ct} = P_m^{cs} \cdot \frac{t_f^{ct}}{t_f^{cs}} \qquad P_m^{ct} \cdot t_f^{cs} = P_m^{cs} \cdot t_f^{ct}$$

în care: t_{r_c} = termenul de recuperare calculat; I_{c_s}, I_{c_t} = investițiile pentru consumatorul simplu (I_{c_s}) și pentru consumatorul tampon (I_{c_t}); C_{c_t}; C_{c_s} = = cheltuielile pentru consumatorul tampon (C_{ct}) și pentru consumatorul simplu (C_{cs}); t_{r_n} = termenul de recuperare normat; C_{c_t} = cheltuielile totale ale consumatorului tampon; i_{sp}^{ct} = investiția specifică la nivelul consumatorului tampon; P_{ct} = puterea consumatorului tampon; f_{rez} = factorul de rezervă a puterii la nivelul sistemului; p_{rs}; p_{si} = consumurile proprii tehnologice în rețelele și centralele sistemului; p_n = coeficientul de eficiență economică; I_{ech} = investițiile de echivalare din punct de vedere al productivității instalației, inclusiv cel energetic; P_m^{ct}; P_m^{cs} = productivitatea instalației tampon (P_m^{ct}) și a producătorului simplu (P_m^{cs}); t_f^{cs}, t_f^{ct} = duratele de funcționare ale consumatorului tampon (ct), respectiv a consumatorului simplu (cs) · Z_{tac} = = cheltuielile totale actualizate; b_{tac} = binomul de actualizare; R_{tac} = valoarea remanentă a instalației a dezafectare.

Înlocuirea utilajelor supradimensionate cu utilaje de putere cerută la nivelul agregatelor tehnologice se face comparînd cheltuielile anuale de calcul

în cele două situații și acceptînd soluția care reclamă cele mai mici eforturi valorice. Comparația se face cu ajutorul următoarelor relații:

a) *Utilaje energetice oarecare*

$$Z_{ut}^{sd} = p_{rta}^{sd} I_{ut}^{sd} + c_{sp}^{e} E_c^{sd} + p_n [i_{sp}^{e} (E_c^{sd} - E_c^n) + i_{sp}^{s} (P_c^{sd} - P_c^n)] \qquad (3\text{-}7)$$

$$Z_{ut}^{n} = p_{rta}^{n} I_{ut}^{n} + c_{sp}^{e} E_c^n + p_n (I_{ut}^n \pm I_{ut}^{sd} + I_{mtj});$$

$$Z_{tac}^{sd(n)} = (b_{tac} \cdot Z_{ut} - R_{tac})$$

$$Z_{ut}^{sd} > Z_{ut}^n; \quad Z_{ut}^{sd} < Z_{ut}^n; \quad Z_{ut}^{sd} = Z_{ut}^n; \quad Z_{tac}^{sd} \gtrless Z_{tac}^{(n)}$$

b) *Motoare asincrone și sincrone*

$$Z_a = c_{sp}^{e} (E_c^a + E_c^{ic}) + (p_n + p_{rta}^{a}) I_t^a + p_n I_{\text{conexe}}$$

$$Z_s = c_{sp}^{e} E_c^s + (p_n + p_{atr}^{s}) I_t^s; \quad Z_{tac}^{a(s)} = [(b_{tac} Z_{tc}^{a(s)}) - R_{tac}]$$

$$Z_s > Z_a; \quad Z_s < Z_a; \quad Z_s = Z_a$$

$$Z_{tac}^{a} \gtrless Z_{tac}^{s}$$

în care: $Z_{ut}^{sp}; Z_{ut}^n; Z_a; Z_s$ = cheltuielile totale anuale de calcul pentru utilajul supradimensionat (Z_{ut}^{sd}) și cel de putere cerută (Z_{ut}^n); pentru motorul asincron (Z_a) și pentru cel sincron (Z_s); $I_{ut}^{sd}; I_{ut}^n; I_{mtj}; I_t^a; I_{\text{conexe}}$ = investițiile pentru utilajele supradimensionate și cele normale ($I_{ut}^{sd}; I_{ut}^n$); investiții pentru montaj (I_{mtj}); cele pentru motoare asincrone, care sînt înlocuite cu cele sincrone ($I_t^a; I_t^s$) și investițiile conexe; p_{atr} = coeficient pentru determinarea cheltuielilor cu amortizarea și a celor cu reparațiile instalațiilor; c_{sp}^e = costul energiei; $E_c^{sd}; E_c^n$ = energiile consumate de instalația supradimensionată (sd) și cea de putere adecvată (n); $i_{sp}^e; i_{sp}^s$ = investițiile specifice pentru unitatea de energie, respectiv de putere; $P_c^{sd}; P_c^n$ = puterile preluate din sistem de instalațiile comparate; $E_c^a; E_c^s; E_c^{ic}$ = energiile consumate de motorul asincron (a) de cel sincron (s) și de instalația de compensare (ic).

Pe baza comparației indicatorilor valorici se acceptă soluția de înlocuire, dacă cheltuielile pentru utilajul de putere cerută la consumator sînt mai mici, decît cele de la nivelul utilajului supradimensionat. Dacă aceste cheltuieli sînt egale în ambele situații ($Z_{ut}^{sd} = Z_{ut}^n; Z_s = Z_a$) atunci departajarea variantelor se face pe baza indicatorilor naturali.

Compensarea puterii reactive și optimizarea valorii factorului de putere se realizează prin minimizarea cheltuielilor totale anuale scrise în următoarele structuri matematice:

$$Z_{\cos\varphi}^{ic} = [p_{atr} I_{ic} + c_{sp}^{e} \Delta E_i + p_n i_{sp}^{ic} Q_{ic} + p_n (i_{sp}^{e} \Delta E_i + i_{sp}^{s} \Delta P_i) + \qquad (3\text{-}8)$$

$$+ p_n (I_m + I_{\text{conex}})]; \quad Z_{\cos\varphi}^{tac} = (b_{tac} Z_{\cos\varphi}^{ic} - R_{tac})$$

$$Z_{\cos\varphi}^{ic} = \left[c_{sp}^{e} \sum_c t_c \sum_j \sum_i p_s^c Q_{ij}^{ic} + c_{sp}^{e} \sum_c \frac{t_c}{U^2} \sum_j \sum_i (R_{ij_i} \cdot Q_{ij_i}^2 + \right.$$

$$\left. + R_{ij_i} Q_{ij_i}^2 + R_{ij_s} Q_{ij_s}^2) + (p_{atr} + p_n) (i_{sp}^{ic} Q_{ij}^{ic} + I_m^{ij}) + p_n I_{\text{conexe}}^{ic} \right] = \text{minim}$$

Valoarea optimă a factorului de putere rezultat din minimalizarea cheltuielilor ($Z_{\cos\varphi}$) este 0,98 pentru $U = 0{,}4$ kV. Pe măsura creșterii tensiunii $U =$ $=$ (35 ... 110) kV valoarea optimă a factorului de putere coboară pînă la $\cos\varphi =$ (0,95 ... 0,93). În țara noastră valoarea factorului de putere neutral este de 0,92 la bara de injecție a energiei în întreprinderile industriale din sistem. În relația (3—8) intervin următoarele mărimi: p_{atr} = coeficient pentru determinarea cheltuielilor de amortizare a investițiilor în instalațiile de compensare ($I_{ic} = i^c_{sp} Q_{ic}$) și pentru calculul cheltuielilor de întreținere și reparație; c^e_{sp} = costul specific al energiei; ΔE_t = consumul propriu tehnologic în rețelele de joasă tensiune a întreprinderii; i^{ic}_{sp} = investiția specifică pentru fiecare (kVAr) de putere reactive (Q_{ic}) necesare ridicării factorului de putere de la o valoare dată la valoarea dorită; ΔP_i = pierderile de putere în instalațiile analizate; I_m; I_{conexe} = investițiile miniere (I_m) și cele conexe (I_{conexe}); t_c = durata de funcționare anuală a mijloacelor de compensare locală, a energiei reactive cerută la consumator; p^c_s = coeficient de transformare a pierderilor de energie reactivă în pierderile de energie activă; U = tensiunea relației de alimentare cu energie a consumatorilor; R_{ij}; Q_{ij} = rezistențele active și puterile reactive la nivelul rețelei interioare (r), la nivelul transformatoarelor (t) și la nivelul sistemului (s); Q^{ic}_{ij} = energia reactivă ce trebuie produsă pentru ridicarea valorii factorului de putere pînă la valoarea sa optimă; $Z^{tac}_{\cos\varphi}$ = cheltuielile totale actualizate; b_{tac} = binomul de actualizare.

Corelarea sistemică a producției cu consumul de energie se face prin intermediul bilanțurilor energetice (electro, termo și bilanțuri energetice generale) reale și optime. Bilanțurile reale permit cunoașterea situației energetice de la nivelul fiecărui tip de consumator examinat. Bilanțurile energetice se construiesc plecîndu-se de la cele două principii ale termodinamicii care înlesnesc corelarea cantitativă și calitativă a energiilor intrate și a celor ieșite dintr-un sistem industrial. Relațiile de bază pentru bilanțul real au următoarea structură matematică:

$$\begin{aligned} E_i = E_e \quad E_i = E_c + \Delta E; \quad \Delta E = \Delta E_m + \Delta E_{c+b} + \Delta E_{\text{trafo}} \\ Q_i = Q_e \quad Q_i = Q_c + \Delta Q; \quad \Delta Q = \Delta Q_{ut} + \Delta Q_{\text{rețea}} \\ B_i = B_e \quad B_i = B_c + \Delta B; \quad \Delta B = \Delta B_{ut} + \Delta B_{td} \end{aligned} \tag{3-9}$$

în care: E_i; E_e; Q_i; Q_e; B_i; B_e = energiile electrice și termice intrate și cele ieșite din conturul bilanțului și cantitățile de combustibile intrate (i) respectiv ieșite (e) din sistemul analizat; E_c; Q_c; B_c = energia electrică (E_c) cea termică (Q_c) și combustibilul consumat (B_c); ΔE; ΔQ; ΔB = pierderile de energie electrică și termică la nivelul utilajului (ut) și în rețea. ΔE_m = = pierderile de energie electrică în motoare; ΔE_{c+b}; ΔE_{trafo} = pierderile de energie electrică în cabluri și bare și în transformatoare; ΔB_{td} = pierderile de combustibil în rețeaua de transport și în cadrul depozitelor.

Schemele de alimentare cu energie a întreprinderilor se aleg încă din proiectarea unității pe baza calculelor tehnico-economice comparative. Varianta optimă se acceptă în cazul minimului cheltuielilor totale determinat în condițiile restrictive impuse funcționării întreprinderii de sistemul energetic. Pentru

situațiile din cadrul fiecărei întreprinderi, schemele se pot îmbunătăți atît prin modificarea structurii acestora cît și prin îmbunătățirea conexiunilor sale interioare. Reducerea consumurilor proprii tehnologice ale elementelor de rețea din cadrul conturului de bilanț, valorificarea resurselor, creșterea randamentelor instalațiilor energetice, sporirea componentelor energiilor utile de la consumator, precum și optimizarea activității energetice din cadrul întreprinderilor industriale se realizează pe baza unui plan operativ de măsuri care să înlesnească economisirea tuturor formelor de energie în condiții de desfășurare normală a proceselor energotehnologice.

Conducerea pe bază de plan a reparațiilor și întreținerii elementelor de structură din cadrul sistemului național de energie trebuie realizată sistemic, ceea ce presupune coordonarea organizării reparațiilor pe trei nivele și anume: coordonarea nivelului de întreținere și reparație a utilajelor și instalațiilor de la nivelul surselor de producere a combustibililor și centralelor electrice cu nivelul întreținerii și reparării utilajelor și instalațiilor din cadrul lanțurilor energetice ale sistemului și cu nivelul întreținerii și reparării tuturor instalațiilor energetice din cadrul întreprinderilor industriale. Planul de întreținere și reparații are la bază teoria echipamentelor în cadrul cercetării operaționale. Prin măsurile cuprinse în plan se urmărește înlăturarea la timp și în condiții corespunzătoare a defecțiunilor din cadrul instalațiilor în funcțiune la nivelul sistemului condus. Durata optimă după care un utilaj este scos în reparație și timpul după care este înlocuit se determină în funcție de tipul uzurii la care sînt supuse instalațiile. Dacă uzura (constanta respectiv aleatoare) utilajelor apare treptat și progresează după o anumită caracteristică în timp, atunci înlocuirea părților uzate din instalații se face individual. Dacă piesele și aparatele din cadrul instalațiilor energetice se defectează brusc, atunci înlocuirea lor se face în grup. În practică se înlocuiesc în grup, după expirarea duratei optime, piesele componente din cadrul instalațiilor cum ar fi becuri, tuburi electronice, tranzistoare, aparate miniaturizate de măsură și control, etc. În cadrul instalațiilor energetice din centrale, din stații și de la consumatori, înlocuirile sînt complexe (individuale și în grup) și se realizează cu următoarele cheltuieli:

$$Z_{iac}^{g+j} = \left[\sum_{i} (1 + p_n)^{-t}(c_1 N_g + c_2 \sum_{j} N_j + I_t)_i - R_{iac}\right]; \qquad (3\text{-}10)$$

în care: c_1, c_2 = costurile specifice ale înlocuirii în grup (c_1) și ale înlocuirii individuale (c_2); N_g; N_j = numărul de piese și instalații ce se înlocuiesc în grup (N_g) și individual (N_j); I_t = investiția necesară achiziției noilor piese și instalații; R_{iac} = valoarea remanentă a instalațiilor înlocuite.

Strategia de reparare și întreținere a instalațiilor energetice (centrale, rețele, consumator) trebuie construite riguros, deoarece pentru menținerea în funcțiune a utilajelor se fac cheltuielile din fondurile de producție, ceea ce grevează costul produselor realizate la nivelul întregului sistem, dacă nu se studiază modul de organizare rațională a terotehncii și dacă nu se obțin efectele dorite la costuri de întreținere și reparații cît mai mici cu putință. În energetică strategia reparării grupurilor trebuie să țină seama de corelația dintre producție și consumul de energie. Pe baza acestei idei trebuie

ca reparațiile să fie programate în golul curbei anuale de sarcină. Aspectele efectorii ale strategiei de reparație și întreținere a utilajelor sînt concretizate în planurile de reparații ale fiecărei întreprinderi, atît sub aspectul eșalonării în timp a acestor activități, cît și sub aspectul asigurării resurselor materiale și umane. La elaborarea planului de întreținere și reparații, atît la nivel central, cît și la nivelul întreprinderilor (furnizoare de energie, IRE și cele consumatoare de energie) trebuie avute în vedere următoarele:

— Reglementările legislative în privința reparațiilor și modul de clasificare a acestor lucrări. Din acest punct de vedere deosebim lucrări de revizii tehnice (RT), lucrări de reparații curente I și II (RCI și RCII) și lucrări de reparații capitale (RK).

— Întreținerile și reparațiile se pot împărți în cinci grupe și anume: întreținеri corective, întreținеri preventiv-planificate, întreținеri prin revizii și reparații preventiv-planificate, întreținеri paliative și reparații capitale. Întreținerile corective asigură îmbunătățirea constructivă a utilajelor prin reproiectarea unor părți ale instalațiilor și prin înlăturarea unor deficiențe ce țin de fiabilitatea și mentabilitatea instalațiilor analizate. Întreținerile preventiv-planificate asigură menținerea în stare de funcționare a tuturor instalațiilor înlesnind prelungirea duratei de funcționare a tuturor utilajelor prin curățirea și lubrefierea pieselor, prin examinarea minuțioasă a fiecărei părți din instalație și revizia lor zilnică și săptămînală. Întreținerile și reparațiile preventive planificate asigură atît reviziile, cît și reparațiile în funcție de cerințe prin efectuarea următoarelor tipuri de lucrări: reparații după necesitate, reparații pe bază de constatări, reparații preventive cu planificare rigidă (standard) și cu planificare contolată (RT; RCI, RC II; RK). Întreținerile de tip paleativ asigură prelungirea duratei de funcționare a utilajelor prin îmbunătățiri constructive și tehnologice pînă la achiziționarea unor utilaje noi și cuprind reparații după necesitate și cele pe bază de constatări precum și întreținеri de tip preventiv.

— Cuprinderea în plan a lucrărilor de reparații trebuie făcută numai după cunoașterea stării fiecărei instalații pe baza analizei diagnostic. Această metodă permite ca pe baza informaticii să se cunoască nivelul uzurilor și să se prevadă tipul adecvat de reparații pentru fiecare clasă de utilaje. Uzura utilajelor și a instalațiilor poate apare ca uzură normală de funcționare sau uzură accidentală denumită uzură de avarie. Uzura poate fi constantă în timp sau poate avea caracter aleatoriu. Uzura poate fi clasificată astfel: uzură fizică și uzură morală. Uzura fizică duce la diminuarea performanțelor instalației în funcțiune, pe cînd cea morală se datorește apariției de noi utilaje cu performanțe superioare, care prin calitățile lor surclasează tehnic utilajele cu stadiul prelungit de funcționare. Uzura fizică normală se datorește diverselor cauze cum ar fi: cauze mecano-termice, cauze oxidare-coroziune și cauze pe bază de oboseală a întregului material tehnologic. Uzura mecano-termică se datorește frecării pieselor în contact și dezvoltării de căldură, care în condiții de tribologie necorespunzătoare provoacă abraziunea și eroziunea materialelor. Căldura produsă prin frecarea pieselor în contact produce schimbări microstructurale a suprafețelor provocînd înmuierea și griparea suprafețelor. Uzura prin oxidare este provocată de oxigenul care pătrunde în stratul superficial al metalului, formînd în această zonă soluții solide ale combinațiilo

chimice dintre metal și oxigen. Coroziunea provoacă distrugerea materialelor pe cale chimică sau electrochimică. Uzura prin oboseală este provocată de acțiunea sarcinilor variabile asupra pieselor și apare sub forma uzurii de frecare (distrugerea suprafețelor datorită suprapunerii efectelor de alunecare și oxidare), uzura prin exfoliere (desprinderea unor straturi subțiri de pe suprafața pieselor) și uzura prin cavitație (degradarea suprafețelor care lucrează în mediu lichid datorită acțiunii sarcinilor ciclice). Metodele de măsurare a uzurii se clasifică în metode discontinue (metoda cîntăririi pieselor în faza inițială și cea finală și metoda profilografierii suprafeței de lucru a piesei și stabilirea gradului de uzură) și în metode continue (metoda indicilor funcționali sau a performanțelor, permite aprecierea calitativă a uzurii, metoda măsurării cantității de impurități metalice din uleiul de ungere, metoda izotopilor reactivi permite stabilirea cu exactitate a uzurii utilajelor în funcțiune prin introducerea de substanță radioactivă în piesele cercetate și prin înregistrarea cu un contor a numărului de impulsuri produs de substanța radioactivă se stabilește gradul de uzură). Creșterea uzurii este direct proporțională cu mărirea radioactivității uleiului de pe suprafața de contact a piesei uzate. Cu ajutorul metodei izotopilor radioactivi incorporați în piesele utilajelor se poate determina limita uzurii normale. Cînd piesa s-a uzat pînă la adîncimea la care este îngropat materialul radioactiv atunci instalația automată sesizează prezența izotopilor și semnalizează nivelul de uzură avertizînd conducerea secției să treacă la înlocuirea pieselor uzate. Uzura atinge limite normale cînd apar jocurile între piesele în contact. Ea are trei etape de evoluție pe durata de viață a piesei. Prima etapă se caracterizează printr-o uzură exponențială pînă la atingerea parametrilor de lucru ai mașinii după care caracterul progresiv al uzurii încetează și uzura se încadrează în limite normale dacă condițiile tribologice se respectă. După expirarea duratei optime de viață a mașinii uzura fizică a pieselor capătă din nou un caracter progresiv pînă la momentul intervenției operatorului care înlocuiește sau repară piesa uzată. Reparațiile se fac din fondurile de producție, dar investițiile în instalațiile tehnologice din întreprinderi se refac pe baza cotelor anuale de amortizare. Cotele de amortizare pot avea caracter constant sau variabil în funcție de durata de funcționare a întregii instalații. La nivelul sistemelor energetice mici și mijlocii cotele de amortizare a investițiilor în vederea refacerii fondurilor pentru instalații noi, care vor înlocui instalațiile uzate au caracter constant iar la nivelul sistemelor energetice mari și foarte mari cotele de amortizare au caracter variabil, compensînd în mare măsură uzura morală a instalațiilor energetice. Cotele anuale de amortizare variază între (1 ... 3,3)% din investiții. Cotele minime apar în cazul instalațiilor hidroenergetice ale căror durată de viață este de circa 100 ani, iar cele maxime sînt operative la nivelul instalațiilor termoenergetice la care durata de viață este de circa 35 de ani.

Planificarea lucrărilor de întreținere și reparații reclamă rezolvarea următoarelor probleme: determinarea programului calendaristic de efectuare a lucrărilor de reparații, stabilirea necesarului de piese de schimb și a stocului de resurse materiale necesare efectuării ritmice a reparațiilor, concretizarea nivelului tactico-operativ al programului de reparații în funcție de timp și precizarea conținutului acestor activități în funcție de caracterul planificării pe diferite termene (lung, mediu și scurt). Informațiile necesare planificării

lucrărilor de întreținere și reparații trebuie să cuprindă: starea tuturor utilajelor și încărcarea lor actuală și de perspectivă, situația dotărilor și a scoaterii din funcțiune a instalațiilor ținînd seama de dezvoltarea întreprinderii. Planurile de întreținere și reparații consemnează tipul, termenul și durata de reparație a fiecărui utilaj, cine execută lucrarea, ce resurse comportă și eficiența scontată. Planul odată conceput și aprobat se lansează și se urmărește pe bază de grafic. Durata maximă de reparare a unui utilaj complex se determină cu ajutorul drumului critic din teoria grafelor rețea. Forma de organizare a reparațiilor poate influența durata acestor lucrări și termenul la care se scoate respectiv se pune în funcțiune o anumită clasă de utilaje. Reparațiile în energetică se execută astfel: cu forțe proprii, prin întreprinderi specializate și combinat (forțe interne plus contractarea în afară a unor lucrări complexe). Resursele umane necesare executării lucrărilor de reparații se organizează pe echipe specializate pe utilaje, pe tipuri de lucrări și echipe mixte. Specializarea echipelor și a personalului muncitor din domeniul reparațiilor permite diminuarea entropiei informaționale și înlesnește creșterea gradului de organizare a acestui subsistem din cadrul întreprinderii analizate.

Avantajele și neajunsurile formelor de organizare a reparațiilor se pot rezuma astfel:

— Reparațiile cu forțe proprii permit realizarea lucrărilor în timp scurt și la nivel calitativ dorit dar implică aprovizionarea locurilor de lucru cu piese de schimb și formarea unor secții speciale cu personal în plus față de celelalte forme de executare a acestor lucrări. Această metodă se aplică în cazul centralelor electrice; la nivelul întreprinderilor de rețele pentru revizii tehnice și reparații curente (RC I și RC II).

— Reparațiile cu ajutorul întreprinderilor specializate, de tipul întreprinderii Energoreparații, se fac în cadrul sistemului energetic național. Metoda se utilizează la executarea reparațiilor capitale și înlesnește: producerea pieselor de schimb în condiții economice, organizarea în flux a lucrărilor, specializarea personalului pe tipuri de lucrări, asigurarea unei calități sporite a lucrărilor executate, realizarea unei productivități ridicate a muncii, dar utilajul este scos din funcțiune o perioadă mai lungă și trebuie transportat la întreprinderea centralizată de reparații.

— Reparațiile mixte bazate pe forțe proprii și pe aportul întreprinderii centralizate se fac atît la nivelul întreprinderilor furnizoare de energie, a întreprinderilor de rețele cît și a celor consumatoare de energie (sectoarele energetice din cadrul întreprinderilor industriale). Reviziile tehnice și reparațiile curente (RC I și RC II) se execută de regulă cu forțe proprii, iar reparațiile capitale se contractează cu întreprinderile specializate. Agregatele de cazane și generatoarele electrice programate în reparație capitală nu se deplasează la întreprinderea specializată, ci echipe speciale preiau lucrările în cadrul fiecărei secții de producție a centralei și execută reparațiile la fiecare loc de lucru pe bază de contract.

În cadrul sistemului național de energie reparațiile se execută pe trei direcții de organizare a lucrărilor și anume: organizarea unor secții de întreținere și reparații la nivelul fiecărei electrocentrale de mare putere, organizarea echipelor de întreținere și reparații la nivelul întreprinderilor mari de rețele electrice și termice și organizarea secțiilor de reparații în cadrul compartimentelor

mecano-energetice din întreprinderile consumatoare de energie. La nivelul sistemului energetic funcționează o întreprindere centrală (Energoreparații) destinată efectuării reparațiilor energetice la utilaje și instalații complexe. Această întreprindere este dotată cu diverse ateliere specializate pe tipuri de lucrări și este organizată structural ca în schema figurii (3.8).

Organizarea secțiilor de reparații din cadrul întreprinderilor de rețele electrice se face pe baza schemei din figura (3.9).

Organizarea compartimentelor mecano-energetice ale unei întreprinderi consumatoare de energie se face pe baza organigramelor din figura (3.10).

Atribuțiile secțiilor de întreținere și reparații la nivelul întreprinderilor de rețele electrice și la nivelul sectoarelor energetice din cadrul întreprinderilor industriale sînt următoarele: întocmirea planurilor de revizii și reparații și urmărirea realizării în termen a lucrărilor planificate; asigurarea condițiilor tehnico-organizatorice pentru realizarea unor lucrări de reparații de calitate în condiții sporite de securitate și protecție a muncii; elaborarea normativelor de consum pentru piese de schimb și alte resurse materiale și stabilirea necesarului de aprovizionat; organizarea echipelor de reparații specializate pe tipuri de utilaje și lucrări care răspund de calitatea reparațiilor și de operativitatea preluării avariilor; modernizarea instalațiilor și asigurarea aplicării tribologiei cu scopul raționalizării consumurilor de lubrefianți; întocmirea fișelor tehnice pentru materialele și pentru piesele de schimb; executarea lucrărilor de recondiționare a pieselor uzate; întocmirea planului anual de verificări a aparatelor de măsură și control; stabilirea perioadei de revizii și reparații; asigurarea participării personalului din subordine la montarea și darea în folosință a noilor capacități; menținerea la parametrii proiectați a tuturor instalațiilor energetice și stabilirea graficului opririlor utilajelor pentru reparații, precum și elaborarea documentației necesare executării reparațiilor; întocmirea planului de măsuri privind economisirea energiei pe toată durata anului și în special pe timpul iernii.

Conducerea pe bază de plan a lucrărilor de investiții trebuie realizată sistemic. Aceasta presupune construirea concepției de repartizare și folosire a fondurilor de investiții, realizarea în condiții eficiente a montajului și executarea corelată a dezvoltării unităților în funcțiune cu obiectivele noi. Realizarea practică a acestor idei presupune cunoașterea structurii investițiilor, elaborarea documentației de investiții și organizarea în timp a lucrărilor de proiectare-montaj și dezvoltarea obiectivelor de investiții. Investițiile cuprind fondurile destinate atît construirii unor obiective noi cît și modernizării și dezvoltării unităților existente. Documentația pentru aprobarea și realizarea investițiilor cuprinde nota de comandă și proiectul de execuție. Ambele studii se supun aprobării forului tutelar de investiții și forurilor de conducere ierarhică. Conform legislației în vigoare documentația de investiții trebuie precedată de următoarele studii: studiul de dezvoltare în perspectivă a ramurii energiei electrice și termice, studiul de profil și amplasament pentru obiectivele noi, studiul de marketing și studiul includerii obiectivului în planurile curente și de perspectivă ale dezvoltării sistemului energetic național. Notele de comandă trebuie să cuprindă: denumirea investiției, capacitatea și profilul noului obiectiv energetic, durata de realizare a investițiilor cu precizarea datei de punere în funcțiune a capacităților de producție, precizarea amplasamentului

RECAPITULAȚIE

INDICATORI	TOTAL	DIN CARE INDUST. E.M.
Total personal muncit.	471	471
din care	471	471
TESA total	52	52
în struct. funcțională	11	11
în struct. de producție	41	41
Maiștri	16	16
Muncitori	403	403

DIRECTOR 1

BIROUL APROVI-ZIONARE ȘI EVIDENȚĂ ECONOMICĂ 4 1 5

BIROUL PLAN, PROGRAMARE PRODUC. TEHNIC CONTR. CALITATE 1 1 5

LABORATOR CONTR. CERCET. DEFECTOSCOPICA CAZANE VULCAN 6 1 5

LABORATOR CONTR. CERCET. DEFECTOSCOPI-CA TURBINE, POMPE IMGB ȘI IPAB 2 1 5

LABORATOR CONTR. CERCET. DEFECTOSCOPICA TURBINE HIDRO - REȘIȚA - 6 1 6

SECȚIA 1R REPARAȚII MECANICE 8 1 42 / 145

SECȚIA 2R REPARAȚII ELECTRICE 8 1 23

1+11 0+10
1+11 0+11
1+11 0+10
1+11 1+11
1+14 1+15 0+8
1+20 1+20 0+15
1+25 1+20 0+10
1+20 0+15
1+15 0+15
1+15 0+15
1+15 0+15

Fig. 3.8.
ORGANIGRAMA ÎNTREPRINDERII DE REPARAȚII

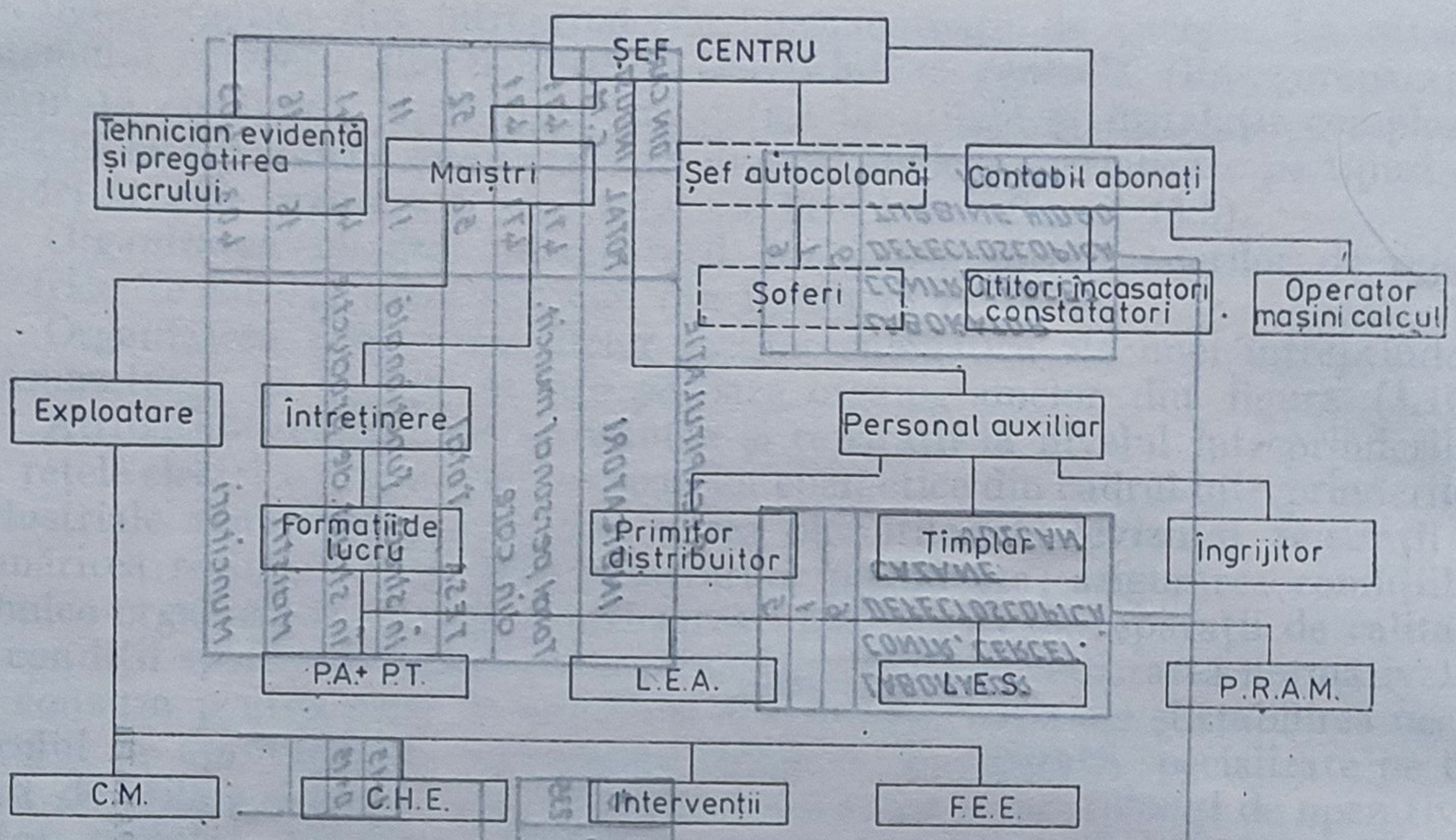


Fig. 3.9.

SCHEMA DE PRINCIPIU A ORGANIZĂRII UNUI CENTRU DE REȚELE

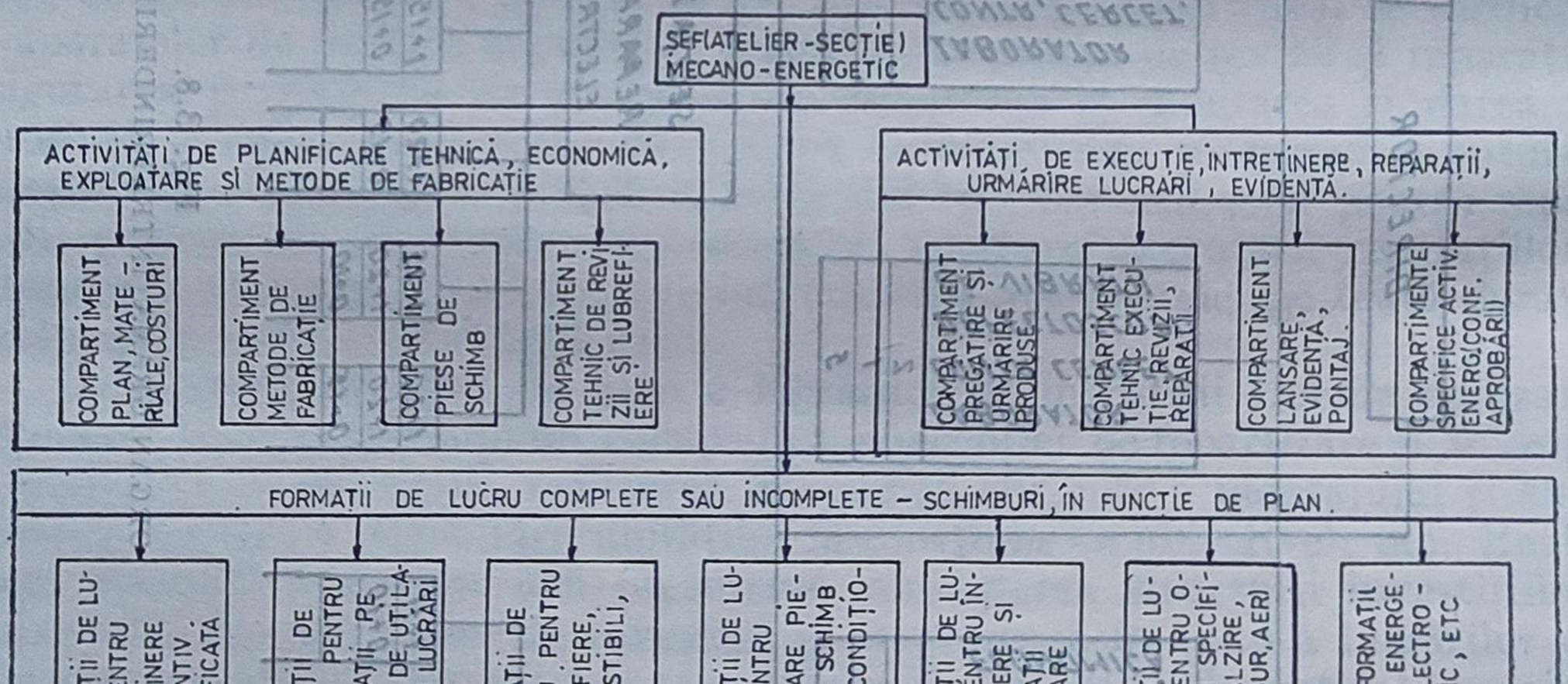


Fig. 3.10.

SCHEMA CADRU DE ORGANIZARE A ACTIVITĂȚILOR DE ÎNTREȚINERE ȘI REPARAȚII DIN CADRUL SECȚIEI MECANO-ENERGETICE

și a gradului de ocupare a terenului, calitatea produselor în comparație cu produse similare realizate pe plan mondial, acțiunile de cooperare internă și internațională, gradul de utilizare a capacității de producție, structura și traseele optime ale fluxurilor de producție (tehnologice, energetice, informaționale), durata anuală de funcționare a obiectivului nou proiectat, caracteristicile combustibilului necesar, precizarea valorilor atît a consumurilor specifice cît și a

celor proprii tehnologice și structura indicatorilor de eficiență ai investițiilor. Indicatorii limită de eficiență a investițiilor care se includ în nota de comandă sînt: valoarea totală a investiției și a producției fizice, nete și globale, cota de investiții pentru montaj, valoarea importurilor în valută, productivitatea muncii în unități fizice și valorice, numărul maxim de personal, cheltuieli maxime la 1000 lei producție marfă, valoarea acumulării anuale din care se defalcă beneficiul și se calculează rentabilitatea. Din nota de comandă trebuie să rezulte soluția optimă după care se realizează proiectul de execuție.

Proiectele de execuție trebuie să cuprindă profilul de producție a obiectivului energetic și destinația producției; etapele de punere parțială și totală în funcțiune a agregatelor, respectiv a întregului obiectiv, încadrarea obiectivului în zonă și în cadrul platformei industriale unde va funcționa, planul general al secțiilor de producție cu precizarea terenurilor ce se expropiază, structura tehnologiilor de lucru comparativ cu cele de pe plan mondial, calitatea produselor și modul de asigurare cu resurse a noii unități, inclusiv folosirea fluidelor tehnologice, găsirea schemelor optime de amplasare a utilajelor și organizarea rațională a muncii inclusiv a transportului intern, gospodărirea rațională a resurselor, realizarea celor mai fiabile scheme tehnologice din punct de vedere constructiv și funcțional pe baza soluției din nota de comandă, asigurarea protecției muncii și a mediului înconjurător, rezolvarea problemelor conexe și colaterale ale obiectivului cu instalațiile tehnologice de pe platformă și a celor din zonă inclusiv precizarea modului de realizare a indicatorilor tehnico-economici din nota de comandă.

Lucrările de investiții pentru obiective energetice de mare capacitate se realizează în antrepriză pe bază de contract cu întreprinderi specializate (Energo și Electromontaj). Lucrările mici se execută în regie proprie de către secțiile de investiții organizate la nivelul întreprinderilor de electrocentrale și a celor de rețele electrice. Întrucît lucrările de investiții sînt eșalonate în timp este necesar ca fondurile de investiții să fie actualizate. Actualizarea poate fi făcută la următoarele momente: momentul începerii lucrărilor; momentul punerii în funcțiune; momentul începerii rambursării creditelor și momentul scoaterii din funcțiune a instalației. În practica proiectării instalațiilor energetice din țara noastră, actualizarea se face la momentul începerii lucrărilor de investiții dar conform concepției sistemice operația de actualizare trebuie raportată la momentul blocării fondurilor și trebuie să opereze cu întreaga durată de blocaj (proiectare-montaj-exploatare). Grăbirea ritmului de realizare a obiectivelor energetice duce la micșorarea duratei de blocaj a fondurilor de investiții.

Determinarea soluției optime de realizare a unui obiectiv de investiții se face minimizînd suma investițiilor totale actualizate. Investițiile în energetică sînt de asemenea destinate atît modernizării utilajelor cît și cibernetizării instalațiilor de producere-transport și utilizare a energiei. Ele cuprind investiții propriu zise (I_{pz}) și investiții în concepția sistemică (de echivalare I_{ech}; miniere I_m; conexe și colaterale I_{excl}; diverse și neprevăzute I_{dvnp}). Investițiile propriu-zise se calculează cu ajutorul cercetării operaționale, ținînd seama de teoriile stocurilor și așteptării ($I_s + I_a$) teoriile echipamente-ordonanțare ($I_e + I_{or}$); ingineria umană și teoria prognozei ($I_{im} + I_{pr}$);

teoriile căutare-risc ($I_{cat} + I_{rs}$); ingineria valorii și teoria deciziei ($I_{iav} + I_{dd}$). Relațiile de calcul ale investițiilor au următoarele forme matematice:

$$I_{tac} = \sum_i (1 + p_n)^{-i}(I_{pz} + I_{ech} + I_m + I_{cxcl} + I_{dvnp}) = \text{minim} \quad (3\text{-}11)$$

$$I_{pz} = (I_s + I_a) + (I_e + I_{or}) + (I_{im} + I_{pr}) + (I_{cat} + I_{rs}) + (I_{iav} + I_{dd}).$$

$$I_{ech} = (I_{ech}^{centrala} + I_{ec.}^{retea} + I_{ech}^{cons}); \quad I_m = (I_m^{ce} + I_m^{re} + I_m^{ci})$$

$$I_{cxcl} = (I_{apa} + I_{tc} + I_{ls} + I_{sc} + I_{dzc}); \quad I_{dnp} = (I_{dnp}^{ce} + I_{dnp}^{re} + I_{dnp}^{ci}).$$

Investițiile de echivalare acoperă diferențele de capacitate de producție și transport la nivelul sistemului (centrale, linii) pe seama capacităților în funcțiune și diferența de consum propriu tehnologic de energie la nivelul centralei, la nivelul lanțurilor energetice dintre producție și consum și la nivelul consumatorilor de energie. Această categorie de investiții servește și pentru asigurarea grupurilor energetice în centrale pentru acoperirea consumurilor proprii tehnologice astfel ca la consumator să fie livrată puterea și energia efectivă. Pentru acoperirea cu combustibil a cererilor la nivelul centralelor ce produc energia pentru preluarea consumurilor proprii tehnologice în sistem (centrale, linii și stații, consumatori) se includ în aceste investiții și eforturile pentru procurarea resurselor primare suplimentare. Din acest motiv investițiile de echivalare cuprind investițiile de echivalare la nivelul centralelor (I_{ech}^{ce}), la nivelul rețelelor (I_{ech}^{re}) și la nivelul consumatorilor industriali (I_{ech}^{ci}). Pentru acoperirea cu combustibil a producției de energie ce apare sub forma de consum propriu tehnologic se fac investiții la nivelul centralelor (I_m^{ce}), la nivelul rețelelor (I_m^{re}) și la nivelul consumatorilor industriali (I_m^{ci}). Investițiile conexe și colaterale cuprind investiții pentru partea hidrotehnică a centralelor (I_{apa}); pentru transportul combustibilului (I_{tc}); pentru încadrarea în sistem a noului obiectiv prin linii de legătură și stații adecvate de conexiuni (I_{ls}); pentru lucrări social-culturale (I_{sc}) și pentru depozitarea zgurei și cenușei rezultate din arderea combustibilului în centrale (I_{dzc}) în vederea protejării mediului. Investițiile diverse și neprevăzute se planifică atît pentru preluarea fără dificultăți a situațiilor noi de la nivelul fiecărei centrale, linii și stații, respectiv consumatori cît și pentru rezolvarea unor probleme diverse, astfel ca produsele realizate să fie de calitate.

Fundamentarea soluției de concepere și realizare a obiectivelor de investiții se face cu ajutorul indicatorilor tehnico-economici, care apar în legislație sub forma indicatorilor generali și sub forma indicatorilor specifici. Indicatorii generali reflectă eficiența investițiilor la nivelul întregului sistem luat în comparație cu alte sisteme similare. Indicatorii specifici exprimă particularitățile tehnico-economice ale instalațiilor studiate separat. După fazele pe care le parcurg lucrările de investiții, indicatorii se împart în trei clase și anume: clasa indicatorilor de proiectare; clasa indicatorilor de construcții-montaj și clasa indicatorilor de exploatare. Clasa indicatorilor de proiectare și clasa celor de construcții-montaj cuprind: indicatori privind soluția optimă de proiectare și indicatori privind pregătirea lucrărilor sub aspect tehnologico-organizatoric, indicatori privind utilizarea suprafețelor prevăzute a se construi, indicatori

privind structura eșelei de alimentare a obiectivului în faza de montaj și indicatori privind intrarea parțială și totală în funcțiune a capacităților de producție, precum și termenul la care instalația realizată atinge parametri proiectați. Clasa indicatorilor de exploatare cuprinde: indicatori privind înzestrarea tehnico-energetică a întreprinderii, indicatori privind structura și calitatea resurselor umane, inclusiv înzestrarea energetică a muncii cu diverse forme de energie, indicatori privind consumurile specifice și totale de resurse materiale și energetice, indicatori privind nivelul posibil de realizare a producției și indicatori privind nivelul productivității muncii pe unitate de timp, pe utilajele de bază, pe lucrător și pe suprafața productivă.

Indicatorii privind calitatea și eficiența lucrărilor de investiții pot fi naturali și valorici. Structura indicatorilor naturali din energetică cuprinde: capacitatea medie orară a cazanelor și numărul grupurilor, puterea disponibilă și cea utilizabilă la vîrf, numărul mediu al orelor de utilizare a puterii medii anuale instalate în centrală, numărul specific de personal (om/MW_i) consumul specific de combustibil convențional pe formele de energie produsă, consumul propriu tehnologic în centrale, rețele și la consumator, productivitatea pe partea electrică a centralelor, stațiilor și consumatorilor proiectați inclusiv pentru partea hidrotehnică a centralelor electrice, producția anuală pe lucrător și randamentele realizate la nivelul centrelor de producere a energiei, la nivelul lanțurilor energetice și la nivelul utilajelor din cadrul sectoarelor energetice ale întreprinderilor industriale. Indicatorii valorici privind calitatea și eficiența investițiilor cuprind: cheltuielile totale actualizate, cheltuielile totale anuale de calcul, termenul de recuperare a investițiilor suplimentare (ΔI_{ik}) pe baza economiilor realizate la cheltuielile de exploatare (ΔC_{ki}), coeficientul de eficiență economică, venitul net pe durata de realizare a investițiilor și costul specific total actualizat (c_{sp}^{tac}), respectiv costul specific al producției realizate anual (c_{sp}^{tc}).

Structura acestor indicatori cuprinde următoarele relații matematice:

$$Z_{tac}^{s} = (Z_{tae}^{rs} + Z_{tac}^{ce} + Z_{tac}^{re} + Z_{tac}^{ci} + Z_{tac}^{ism}) \tag{3-12}$$

$$Z_{tac}^{ce} = \left\{\sum_i (1 + p_n)^{-t}[c_{sp}^{e}(E_{ci} + E_{ech}^{ce} + E_{ech}^{re} + E_{ech}^{ci}) + c_{sp}^{m}(B_{ech}^{ce} + B_{ech}^{re} + B_{echech}^{re\ ci})_i + (I_{pz} + I_{ech} + I_m + I_{cxci} + I_{dnp})_i^{cereci}] - R_{tac}^{ce}\right\}$$

$$Z_{tac}^{ce} = \left\{\sum_i (1 + p_n)^{-t}[c_{sp}^{e}(E_{ci} + E_{ech}^{re} + E_{ech}^{ci})_i + c_{sp}^{m}(B_{ech}^{re} + B_{ech}^{ci})_i + (I_{pz} + I_{ech} + I_m + I_{cxci} + I_{dnp})^{recu}] - R_{tac}^{re}\right\}$$

$$Z_{tac}^{ci} = \left\{\sum_i (1 + p_n)^{-t}[c_{sp}^{e}(E_{ci} + E_{ech}^{ci}) + c_{sp}^{m}(B_{ech}^{ci}) + (I_{pz} + I_{ech} + I_m + I_{cxci} + I_{dnp})^{ci}] - R_{tac}^{ci}\right\}$$

$$Z_{tc} = (C_{pz} + C_{ech} + C_m + C_{cxci} + C_{dnp}) + p_n(I_{pz} + I_{ech} + I_m + I_{cxci} + I_{dnp})$$

$$t_{r_c} = \frac{I_i - I_k}{C_k - C_i} = \frac{\Delta I_{ik}}{\Delta C_{ki}} \gtrless t_{r_n} = (12{,}5 \ldots 16{,}6) \text{ ani}$$

$$p_{ef_c} = \frac{1}{t_{r_c}} = \frac{C_k - C_i}{I_i - I_k} = \frac{\Delta C_{ki}}{\Delta I_{ik}} \gtrless p_n = (0{,}08 \ldots 0{,}06) \ (\text{ani}^{-1})$$

$$V_{net}^{an} = (c_{sp}^{e} E_p - Z_c); \quad V_{net}^{tac} = (V_{brut}^{tac} - Z_{tac})$$

$$c_{sp}^{tac} = Z_{tac}/V_p^{tac}; \quad c_{sp}^{an} = Z_{tc}/V_l^{an}$$

în care:

Z_{tac}^{s}; Z_{tac}^{ce} Z_{tac}^{re}; Z_{tac}^{ci} = cheltuielile totale actualizate la nivelul sistemului (s) respectiv a centralei (ce); la nivelul lanțurilor energetice (re) și la nivelul consumatorilor industriali (ci); Z_{tac}^{rs}; Z_{tac}^{ism} = cheltuielile totale actualizate la nivelul resurselor combustibile (rs) și la nivelul impactului sistem-mediu (ism); c_{sp}^{e}; c_{sp}^{m} = costurile specifice pentru energie (e) și pentru combustibil (m); $E_p = E_t + E_{ech}^{cere}$; $E_{ci} = (E_t - E_{ech}^{ci})$ = energiile produse (p), transportate (t) și preluate de consumatori (ci); E_{ech}^{ce}; E_{ech}^{re}; E_{ech}^{ci} = energiile de echivalare la nivelul centralei (ce), inclusiv sursei de combustibil (rs), la nivelul rețelelor electrice (re) și la nivelul consumatorilor (ci); B_{ech}^{ce}; B_{ech}^{re}; B_{ech}^{ci} = cantitățile de combustibil pentru acoperirea consumurilor proprii tehnologice și a pierderilor de transport-depozitare la nivelul surselor și a centralelor electrice (ce), al nivelul lanțurilor energetice (re) și la nivelul consumatorilor (ci); R_{tac}^{ce}; R_{tac}^{e}; R_{tac}^{ci} = valorile remanente ale utilajelor cînd sînt dezafectate din și centrală (ce), din cadrul lanțurilor energetice (re) și din structura consumatorilor (ci); t_{rc} = termenul de recuperare calculat; p_{ef_c} = coeficientul de eficiență calculat; C_i; I_i; C_k; I_k; = cheltuielile și respectiv investițiile totale în variantele care se compară; V_{net}^{an}; V_{net}^{tac} = veniturile nete pe an și pe durata de eșalonare a investițiilor; E_p = producția de energie realizată; V_{brut}^{tac} = venitul brut total actualizat; V_p^{tac}; V_l^{an} = volumul producției pe durata de actualizare, respectiv volumul energiei livrate sistemului pe durata unui an.

În cadrul relațiilor anterioare doi termeni joacă un rol deosebit în aprecierea eficienței, mai ales cînd se compară centrale electrice cu durate de viață diferite. Acestea sînt cheltuielile cu daunele și valoarea remanentă a instalațiilor. Daunele reprezintă pagubele provocate la nivelul sistemului social, ca urmare a întreruperii accidentale a alimentării cu energie a consumatorilor. Din analizele făcute la nivelul sistemelor industriale a rezultat că daunele sînt egale cu producția netă nerealizată pe durata întreruperii alimentării cu energie a secțiilor de producție. Situațiile cele mai frecvente de comparare a variantelor de soluții energetice posibile, privind conceperea și realizarea obiectivelor energetice cu durate de viață identice sau diferite se referă la: compararea centralelor electrice de termoficare cu centralele termoelectrice; compararea diverselor tipuri de centrale hidroelectrice între ele și cu centrale termoelectrice, compararea centralelor nuclearo-electrice între ele și compararea acestora cu centrale termoelectrice clasice, compararea variantelor de dezvoltare a sistemului energetic cu și fără calculatoare de proces. În aceste variante investițiile se eșalonează în timp, fie uniform, fie neuniform. Relațiile de cal-

cul pentru valoarea producției nete (VPN), a valorii remanente (R_t) și a volumului de investiții cu eșalonare uniformă și neuniformă în timp au următoarea structură matematică:

$$P^{a}_{netă} = d_{sp} \cdot E_{nl} = d_{sp} \cdot P_t \cdot t_{nf}$$

$$P_{\text{netă}_t} = s\left[\frac{1{,}1 \cdot b \cdot VPN_{an}}{2\,400\ k_{sch}} t_e + V_{pt}\right]$$

$$P_{\text{netă}_{t+e}} = \left[\frac{1{,}1 \cdot b \cdot t_e s}{2\,400\ \text{ksch}} (VPN_t + aVPN_e) + V_{pt+e} \cdot s\right]$$

$$P^{e}_{\text{netă}} = [s(d_{sp} \cdot P_{int} + a \cdot d_{sp} \cdot P_{ex})\, t_e + V_{pt} \cdot s + V_{pe} \cdot s]$$

$$R_{tac} = (D + d - D') \cdot c_{am} \cdot \sum_{i=1}^{D'} I_i (1 + p_n)^{-D'} \tag{3-13}$$

$$I_{tac} = I_t^{\text{uniform}}\left[\frac{(1 + p_n)^{D'} - 1}{p_n (1 + p_n)^{D'}}\right]$$

$$R_{tac} = I_{tac} \cdot c_{am}(D + d - D')$$

$$C_{tac} = C_t^{\text{uniform}}\left[\frac{(1 + p_n)^{D'} - 1}{p_n (1 + p_n)^{D'}} - \frac{(1 + p_n)^{d} - 1}{p_n (1 + p_n)^{d}}\right]$$

Actualizarea investițiilor eșalonate neuniform în timp, la momentul începerii investiției considerînd durata de execuție (d), durata de calcul (D') și durata de viață a utilajului (D) se face astfel:

Mărimi \ Anii	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
$I_t \cdot 10^6$ lei	0	300	700	1400	1500	1300	700	100	6000
$(1 + p_n)^{-D'}$	0,943	0,89	0,84	0,792	0,747	0,705	0,665	0,627	
$I_{tac} \cdot 10^6$	0	267	588	1109	1120	791	465	63	4259

Eșalonarea investițiilor trebuie astfel realizată încît să nu avem fronturi de lucru deschise fără resurse, să nu existe timpi de așteptare peste duratele precalculate și să nu apară fonduri imobilizate pe durate lungi deoarece cresc imobilizările. Dacă se compară variante energetice de centrale termoelectrice cu centrale hidroelectrice atunci trebuie luate în considerație scheme specifice de eșalonare neuniforme a investițiilor și trebuie avut în vedere aceeași durată de funcționare a instalațiilor. Este știut că durata de viață a utilajelor energetice este de 35 de ani, iar durata de viață a unor instalații hidroenergetice este

de (80 ... 100) ani. Dacă în structura modelelor de comparație intră energia produsă pe toată durata de viață, atunci la nivelul investițiilor și cheltuielilor celor două tipuri de centrale care se compară apar modificări esențiale, cînd soluția de referință este cea cu durata cea mai lungă de viață a instalațiilor energetice. Valorile binomului de actualizare $(1 + p_n)^{\pm i}$ se pot urmări în tabelul (3-1). În relații anterioare intervin următoarele mărimi: $P^g_{netă}$; $P^c_{netă}$ = producția netă generală (g) și cea specifică (c) la nivelul instalațiilor energetice care alimentează diverși consumatori industriali; $P_{netă_i}$; $P_{netă_e}$ = productivitățile nete în cazul unui consum intern (i) și în cazul cînd producția realizată este destinată și exportului ($i + e$); d_{sp} = dauna specifică = 23 lei/kWh la nivel republican; E_{nl} = energia nelivrată; P_i = puterea instalată în momentul apariției avariei; t_{nf} = durata întreruperii alimentării cu energie a consumatorilor; s = coeficient de intensitate, prin care se ține seama de probabilitatea apariției avariei; b = coeficient de corecție între durata întreruperii alimentării cu energie și durata întreruperii tehnologice; t_e = durata întreruperii electrice pe timp de un an; k_{sch} = coeficientul de schimburi = = 2 pentru cazul general; $a = 1{,}1$ = coeficientul de neutilizare a fondurilor fixe; V_{p_i}; V_{p_e} = valoarea pagubelor rezultate prin degrafarea utilajelor și a resurselor materiale destinate atît producției interne cît și celei realizate pentru export. P_{int}; P_{ex} = puterea utilizată pe plan intern (P_{int}) și cea pentru export (P_{ex}); c_{am} = cota de amortizare a investițiilor; $I_t^{uniform}$; $C_t^{uniform}$ = investițiile și respectiv cheltuielile cu eșalonare uniformă în timp.

TABELUL 3-1

Calculul binomului de actualizare

Anul	$(1 + 0{,}06)^{+i}$	$(1 + 0{,}06)^{-i}$	$(1 + 0{,}08)^{+i}$	$(1 + 0{,}08)^{-i}$	OBS.
0	1	2	3	4	5
1	1,06	0,94	1,08	0,928	
2	1,12	0,89	1,16	0,0858	
3	1,19	0,84	1,259	0,794	
4	1,26	0,79	1,36	0,736	
5	1,33	0,75	1,46	0,681	
6	1,41	0,70	1,58	0,630	
7	1,50	0,66	1,71	0,583	
8	1,59	0,62	1,85	0,540	
9	1,68	0,59	1,99	0,500	
10	1,79	0,55	2,15	0,463	
11	1,89	0,52	2,33	0,429	
12	2,01	0,49	2,51	0,397	
13	2,13	0,46	2,72	0,368	
14	2,26	0,44	2,93	0,340	
15	2,39	0,41	3,17	0,315	
16	2,54	0,39	3,42	0,292	
17	2,69	0,37	3,70	0,270	
18	2,84	0,35	3,99	0,250	
19	3,02	0,33	4,31	0,232	
20	3,20	0,31	4,66	0,214	
21	3,39	0,29	5,03	0,198	

TABELUL 3-1 (continuare)

0	1	2	3	4	5
22	3,59	0,27	5,13	0,184	
23	3,81	0,26	5,81	0,170	
24	4,03	0,24	6,34	0,157	
25	4,28	0,23	6,84	0,146	$\sum_{i=1}^{25} (1 + 0,08)^{-i} = 10,67$
26	4,53	0,22	7,39	0,135	
27	4,81	0,20	7,98	0,125	
28	5,10	0,19	8,62	0,116	
29	5,40	0,18	9,31	0,107	$\sum_{i=1}^{t=25} (1 + 0,06)^{-i} = 12,78$
30	5,73	0,17	10,06	0,099	
31	6,07	0,16	10,86	0,092	
32	6,43	0,15	11,73	0,085	
33	6,82	0,14	12,67	0,078	
34	7,23	0,138	13,69	0,073	
35	7,66	0,13	14,78	0,067	
36	8,12	0,12	15,86	0,062	
37	8,61	0,116	17,24	0,058	
38	9,13	0,108	18,68	0,053	
39	9,68	0,10	20,11	0,049	
40	10,26	0,09	20,72	0,046	

Notă : pentru $p_n = 0,06 \quad t_{rn} = \dfrac{1}{0,06} = 16,6$ ani

pentru $p_n = 0,08 \quad t_{rn} = \dfrac{1}{0,08} = 12,5$ ani

În calculele tehnico-economice pentru alegerea variantei de realizare a obiectivelor energetice se acordă prioritate următoarelor probleme: economisirea energiei, creșterea randamentelor, reducerea consumurilor specifice și proprii tehnologice, utilizarea cu eficiență maximă a tuturor purtătorilor de energie, punîndu-se accent pe combustibilul inferior și pe potențialul hidroenergetic al țării, valorificarea economică a resurselor energetice secundare, optimizarea organizării șantierelor și a structurii noului obiectiv proiectat ținînd seama de încadrarea acestuia în sistemul energetic în funcțiune, extinderea termoficării în limite economice, reducerea duratelor de execuție, exploatarea rațională a tuturor instalațiilor din sistemul analizat și obținerea unei soluții la care concepția și realizarea obiectivului energetic reclamă cheltuieli totale actualizate minime.

Conducerea pe bază de plan a activității de personal trebuie concepută și realizată sistemic pe baza ingineriei umane. Problemele ingineriei umane de la nivelul sistemelor de energie sînt în principal următoarele:

— Structura resurselor umane inclusiv modul de folosire a lucrătorilor în cadrul întreprinderilor energetice și planul forțelor de muncă și retribuții după muncă cu principalii indicatori: productivitatea muncii, numărul de personal și fondul de retribuții;

— Selectarea, pregătirea și promovarea personalului pe baza legislației în vigoare. Normarea activității la nivelul proiectării, montajului și exploatării obiectivelor energetice și formele de retribuire după muncă a personalului muncitor. Ergonomia locurilor de muncă și organizarea dialogului om-calculator.

— Determinarea indicatorilor privind nivelul producției, a productivității, a numărului de lucrători, a retribuției medie și corelarea lor din punct de vedere tehnico-economic. Calitatea și eficiența activității de personal trebuie determinată în condiții de aplicare în practică a mecanismului economico-financiar.

Resursele umane la nivelul sistemului național de energie se stabilesc pe baza normelor generale de structură și a motivațiilor pentru realizarea unui anumit volum de muncă. Necesarul de personal muncitor se determină sistemic, atît la nivelul cercetării-proiectării, inclusiv nivelul montajului obiectivelor proiectate cît și la nivelul exploatării instalațiilor în funcțiune (centrale, rețele, consumatori). Ținînd seama de particularitățile întreprinderilor de centrale, structura personalului muncitor se concretizează pe profesii și zone de deservire, plecîndu-se de la numărul specific de lucrători pe MW instalat. La nivelul rețelelor și a consumatorilor industriali numărul de personal trebuie justificat prin volumul lucrărilor, zona de deservire și prin atribuțiile ce decurg pentru lucrător la fiecare loc de muncă. Structura personalului muncitor în energetică este formată din 75% muncitori și 25% personal tesa (personal tehnic, economic și de alte specialități). Indicatorii de bază ai planului forței de muncă și retribuții se calculează astfel:

$$P_{mt} = \frac{V_{mp} + V_{nc}}{C_{mm} + C_{mv}}; \quad P_{mv} = \frac{V_{nc}}{C_{mv}}$$

$$P_{m_1} = \frac{P}{N_l}; \quad P_{m_2} = \frac{P}{t}; \quad N_p = i_p \cdot P_i; \tag{3-14}$$

$$F_r = (n_m \cdot r_m^m + n_{i+t} \cdot r_m^{i+t} + n_{paj} \cdot r_m^{paj})\, n_1$$

în care: P_{mt}; P_{mv} = productivitatea totală (P_{mt}) și productivitatea muncii nete (P_{mv}); V_{mp}; V_{nc}; = valoarea mijloacelor de producție (V_{mp}) și valoarea nou creată (V_{nc}); C_{mm}; C_{mv} = cheltuielile de muncă materializată (C_{mm}) și cheltuielile de muncă vie (C_{mv}); P_{m_1} P_{m_2} = productivitatea muncii în cercetare-proiectare-montaj (P_{m1}) și în explotarea instalațiilor (P_{m2}); P = producția totală (globală sau netă după caz); N_1 = numărul de lucrători; t = timpul de funcționare a instalațiilor energetice; N_p = numărul total de personal muncitor; i_p = indicele de personal; P_i = puterea instalată; F_r = fondul de retribuție; n_1 = numărul de luni din anul de plan; n_m; n_{i+t}; n_{paj} = numărul de muncitori (m), de ingineri și tehnicieni ($i + t$) și numărul

personalului ajutător (paj); r_m^m; r_m^{i+t}; r_m^{paj} = retribuțiile medii pe cele trei categorii de personal muncitor.

La transpunerea în practică a acestor indicatori trebuie corelate rezultate la toate nivelele după ce s-a precizat necesarul de personal pe categorii și numărul de lucrători pe meserii, respectiv pe categorii de încadrare în concordanță cu nevoile producției. În plan apare numărul mediu scriptic al personalului muncitor defalcat pe categorii (muncitori și tesa). Prin număr scriptic de personal muncitor se înțelege întregul personal al întreprinderii (permanent și sezonier) pentru care întreprinderea întocmește state de plată. Fondul de retribuire total din plan cuprinde fondul de retribuire pentru personalul muncitor și fondul de școlarizare. Productivitatea muncii în energetică crește atît pe seama sporirii numărului de lucrători cît și pe baza tehnicii noi. Creșterea productivității în exploatarea sistemelor de energie se face prin intermediul roboticii și a calculatoarelor de proces. În energetică calculatoarele de proces participă direct la sporirea producției și productivității în condiții de calitate și eficiență. Robotica s-a extins în special în alte ramuri industriale, urmînd ca la nivelul energeticii această tehnică de creștere a productivității muncii să îmbrace în viitor forme specifice. Creșterea productivității muncii pe seama reducerii personalului prin aplicarea tehnicii noi respectiv a calculatoarelor de proces se determină astfel:

$$\Delta P_m\% = \frac{E_p}{N_p + E_p} \cdot 100; \qquad E_p^g = N_p - N_r = \frac{P_p}{P_{mp}} - \frac{P_r}{P_{mr}} \tag{3-15}$$

$$E_p^e = [k_r(50\, k \sqrt{P_i} - P_i) - \Delta n]$$

în care:

ΔP_m = creșterea productivității muncii; E_p = economia de personal; E_p^g; E_p^e = economia de personal în cadrul sistemelor discrete (E_p^g) și în cele cu structură continuă (E_p^e); N_p; N_r = numărul personalului muncitor planificat (N_p) și realizat (N_r); P_p; P_r = producția planificată (P_p) și cea realizată (P_r); P_{mp}; P_{mr} = productivitatea muncii planificată (P_{mp}) și cea realizată (P_{mr}); k_r = coeficient de reducere a personalului datorită progresului tehnic introdus în cadrul instalațiilor energetice; P_i = puterea instalată; k = coeficientul tipului de combustibil folosit în centrale; Δn = personalul reținut în întreprinderi pentru a deservi noul aparataj în exploatare.

În cadrul întreprinderilor energetice, personalul muncitor se selectează și se pregătește pe structuri de producție, transport și utilizare a energiei și pe activități de cercetare-proiectare, construcții-montaj și exploatare (reparații, dezvoltări, modernizări etc.). Personalul muncitor se împarte în personal industrial și neindustrial. Cel industrial cuprinde muncitori și personal tesa (ingineri, tehnicieni și personal ajutător). Muncitorii se împart în muncitori pentru deservirea generală și muncitori productivi. Muncitorii productivi se împart în muncitori direct productivi, care execută lucrările de bază din cadrul producției și muncitori indirect productivi care ajută prin supravegherea instalațiilor la realizarea producției. Personalul tesa cuprinde: personalul de conducere a secțiilor de producție (șefi de secție, de ateliere etc.) și personalul de specialitate din cadrul secțiilor de producție (ingineri, subingineri, econo-

miști, tehnicieni, normatori, pontatori, dispeceri etc.); personalul de conducere al întreprinderii și șefii de servicii, respectiv șefii de birouri, personalul din serviciile administrative (funcționari, dactilografe, arhivari etc.); personalul de deservire (curieri, portari, paznici, pompieri etc.). Pregătirea personalului se face cu scopul calificării lucrătorilor și formării specialiștilor energeticieni. Această acțiune se organizează prin diverse forme și anume: calificarea la locul de lucru, calificarea în cadrul primei și a celei de-a doua trepte de liceu, calificarea prin cursuri și forme superioare de pregătire (facultate, doctorat, specializări în țară și străinătate etc.). Necesarul de personal se stabilește din raportul producției și timpul efectiv lucrat de fiecare categorie de muncitori, ținîndu-se seama de coeficientul de îndeplinire a normelor. Promovarea personalului muncitor se face pe baza testelor profesionale, ținînd cont de pregătirea politico-ideologică a fiecărui lucrător. Normarea și retribuirea activității personalului muncitor se face în funcție de specificul muncii și în funcție de aportul adus la realizarea sarcinilor de plan. Activitatea productivă în energetică se retribuie în regie și în acord. Retribuirea în regie se aplică în exploatarea instalațiilor iar cea în acord se aplică în proiectare, montaj și reparații.

Indicatorii planului forțelor de muncă și retribuție se corelează cu ajutorul legăturilor matematice dintre indicii producției (i_p); productivității muncii (i_{pm}); fondului de retribuție (i_{fr}); personalului muncitor (i_{np}) și a retribuției medii scrise astfel:

$$i_p = \frac{P_1}{P_0} > i_{fr} = \frac{F_{r1}}{F_{r0}} > i_{np} = \frac{N_{p1}}{N_{p0}}; \qquad i_{pm} = \frac{P_{m1}}{P_{ms}} > i_{rm} = \frac{\gamma_{m1}}{\gamma_{m0}} \tag{3-16}$$

în care: P_1, P_0; F_{r1}; F_{r0}; N_{p1}; N_{p0}; P_{m1}; P_{m0}; γ_{m1}; γ_{m0} = producția în anul de plan (P_1) și în anul de bază (P_0); fondul de retribuție în anul de plan (F_{r1}) și în cel de bază (F_{r0}); numărul personalului muncitor în anul de plan (N_{p1}) și în anul de bază (N_{p0}); productivitatea muncii în anul de plan (P_{m1}) și în cel de bază (P_{m0}); retribuția medie în anul de plan (γ_{m1}) și în cel de bază (γ_{m0}). Diferențele ($i_p - i_{fr}$); ($i_{fr} - i_{np}$); ($i_{pm} - i_{rm}$) contribuie în ordinea scrierii la creșterea fondului de dezvoltare, la creșterea retribuției și la evidențierea aportului tehnicii noi la creșterea producției și productivității muncii.

Conducerea pe obiective a activității financiar-contabile se realizează prin două secțiuni de plan și anume: planul costurilor de producție și planul financiar. Ambele documente se reflectă în bugetul de venituri și cheltuieli. Indicatorii de bază a acestor planuri sînt costurile de producție; beneficiul și rentabilitatea întregii activități. Costul de producție ca indicator sintetic cuprinde totalitatea cheltuielilor de plan și reflectă eficiența utilizării fondurilor sistemului analizat. În costul produselor se reflectă următoarele cheltuieli: cu materia primă și cu energia; cu amortizarea; cu retribuția; contribuții la asigurări sociale; cu tehnica nouă și alte cheltuieli cu munca vie. Planul cheltuielilor întreprinderii în actuala structură cuprinde cheltuielile secțiilor de producție și cheltuielile generale ale întreprinderii. Cheltuielile de producție se împart în cheltuieli directe (materiale și retribuții) și în cheltuieli indirecte (întreținerea și repararea utilajelor; cu amortizarea, generale de

secție, generale de întreprindere; de desfacere și neprevăzute). Costul produsului realizat se determină raportînd cheltuielile secțiilor de producție la volumul producției. Dacă la acesta se adaugă cheltuielile specifice ale întreprinderii pe produs se obține costul la nivelul întreprinderii denumit cost uzinal. Costul uzinal plus cheltuielile specifice de reclamă conduce la costul producătorului. Dacă la acest cost se adaugă beneficiul se obține prețul producătorului. Adăugînd la prețul producătorului impozitul pe circulația produselor și alte prelevări la buget se obține prețul de livrare. Dacă la prețul de livrare se adună adaosul comercial (retribuția lucrătorilor din comerț; beneficiul întreprinderii comerciale și alte cheltuieli neprevăzute) se obține prețul de vînzare cu amănuntul a producției realizate.

Metodele de determinare a structurii cheltuielilor au următoarele denumiri: metoda calculației globale; metoda calculației pe faze; metoda coeficienților de echivalență; metoda normativă; metoda standard-cost; metoda cost oră-mașină; metoda costului direct și metoda cercetării operaționale. Calculația globală se utilizează la determinarea costului energiei electrice și termice produsă într-o centrală electrică de termoficare. Calculația pe faze se întîlnește în întreprinderile constructoare de mașini din ramura energiei electrice și termice. Dacă producția din secții este neomogenă atunci se determină costul pe baza coeficienților de echivalență. Metoda normativă permite calcularea cu anticipație a costurilor pe baza normativelor și operează cu reguli precise pentru eliminarea abaterii costurilor de la cele normate. Structura cheltuielilor determinată cu metoda normativă arată astfel:

$$C_{ef} = (C_{nt} \pm C_{mn} \pm C_{an}) \text{ (lei/produs)} \qquad (3\text{-}17)$$

în care: C_{ef} = cheltuielile efective; C_{nt} = cheltuieli normate; C_{mn} = cheltuieli introduse de modificarea normelor; C_{an} = cheltuieli generate de abaterile de la norme. Metoda standard-cost operează cu următoarea structură de cheltuieli:

$$C = (C^{dr}_{mat} + C^{dr}_{mnp} + C_{gs} + C_{gi} + C_{dvn}) \text{ (lei/produs)} \qquad (3\text{-}18)$$

în care: C_t = cheltuieli totale; C^{dr}_{mat} = cheltuieli directe cu materialele; C^{dr}_{mnp} = cheltuieli directe cu manopera; C_{gs}; C_{gi} = cheltuieli generale cu ale secțiilor (s) și ale întreprinderii (i); C_{dvn} = cheltuieli diverse și neprevăzute. Metoda se aplică în practică în variantele: standard-parțial-cost; standard-unic-cost și standard cost cu dublă înregistrare.

Metoda cost-oră-mașină operează cu o structură de cheltuieli de forma:

$$C^{thm}_t = C^{thm}_{sp} t_e + C_{mat} = (C^{prl}_f + C^{prl}_v + C_{mat}); \qquad (3\text{-}19)$$

în care: C^{thm}_t = cheltuielile totale; C^{thm}_{sp} = cheltuielile orare pentru o mașină sau un grup de mașini; t_e = timpul de lucru în ore a mașinilor analizate. C^{prl}_f; C^{prl}_v = costuri fixe și variabile de prelucrare; C_{mat} = cheltuielile pentru materiale. Metoda costului direct operează numai cu cheltuieli care variază direct proporțional cu volumul producției și are la bază următoarea structură de cheltuieli:

$$C^{do}_{sp} = \frac{C^{dr}_v + C^{id}_v + C_{dnp}}{V_p}; \qquad C^{do}_t = C^{do}_{sp} \cdot N_p \cdot q^{do}_{sp}; \qquad (3\text{-}20)$$

C_{sp}^{dc} = cheltuielile specifice directe; C_v^{dr}; C_v^{id} = cheltuielile variabile directe și indirecte; C_{dnp} = cheltuielile diverse și neprevăzute; V_p = volumul producției; N_p = numărul produselor; q_{sp}^{dc} = consumul specific de resurse. Cheltuielile fixe care nu apar în calculul costului se acoperă din beneficiu.

Metoda cercetării operaționale permite luarea în considerație a cheltuielilor generate de aplicarea în practică a teoriilor stoc-așteptare; echipamente-ordonanțare; inginerie umană—prognoză; căutare-risc; ingineria valorii-decizie. Această metodă se impune prin puterea ei de sintetizare a tuturor cheltuielilor pe faze ale procesului și prin puterea ei de eliminare în totalitate a neajunsurilor celorlalte metode prezentate anterior. Costul produselor determinat pe baza cercetării operaționale are următoarea structură.

$$c_{sp} = \frac{(Z_{pz} + Z_{cs})}{V_p} = \frac{(Z_{sa} + Z_{eor} + Z_{imp} + Z_{crs} + Z_{iavd} + Z_{cs})}{V_p} \text{ (lei/produs)} \qquad (3\text{-}21)$$

în care: Z_{pz}; Z_{cs} = cheltuielile propriu-zise (Z_{pz}) și cele pentru aplicarea concepției sistemice (Z_{cs}); Z_{sa} = cheltuieli cu stocarea și așteptarea; Z_{eor} = cheltuieli cu echipamentele și ordonanțarea; Z_{imp} = cheltuieli cu ingineria umană și prognoza; Z_{crs} = cheltuieli cu căutarea și riscul; Z_{iavd} = cheltuieli cu ingineria valorii și decizia.

Determinarea previzională a costurilor se face plecînd de la compararea modelelor regresionale (Y_r) și a celor exponențiale (Y_e) cu datele culese dintr-un proces experimental. După această modelare se calculează coeficienții de corelație a modelului teoretic cu datele experimentale și se acceptă acel model la care coeficientul de corelație (C_r) este mai aproape de unitate. Relațiile de calcul pentru costurile previzionale au următoarele structuri matematice:

$$Y_r = ax_1 + bx_2 + c; \quad Y_e = k \cdot x_1^a \cdot x_2^b \qquad (3\text{-}22)$$

$$C_r = \left[1 - \frac{(y_i - Y_{ri})^2}{(y - \bar{y})}\right]^{1/2}; \quad C_e = \left[1 - \frac{(Y_i - Y_{ei})^2}{(Y_i - \bar{Y})}\right]^{1/2}$$

în care: k, a, b, c = constantele procesului analizat x_1; x_2 = factori de influență; Y_{ri}, Y_{ei}, $\bar{Y}$ = valorile de costuri obținute prin prognoză (Y_{ri}, Y_{ei}) și valoarea lor medie ($\bar{Y}$). Conducerea pe bază de plan financiar a activității unui sistem de energie reclamă calcularea costului energiei numai la nivelul întregului sistem. Planul financiar reflectă valoric rezultatele obținute la nivelul celorlalte secțiuni de plan și scoate în evidență modul de aplicare a autoconducerii și a autogestiunii resurselor relevînd nivelele beneficiului și a rentabilității obținute în producție. În planul financiar trebuie să se cuprindă sarcini privind rentabilitatea producției prin depășirea beneficiului planificat; mărirea acumulărilor, accelerarea vitezei de rotație a mijloacelor circulante; mărirea vărsămintelor către buget și gospodărirea rațională a alocațiilor de la buget. Legătura dintre alocații (A); vărsăminte (P); beneficii (B) și rentabi-

litate (R) la nivelul bugetului de venituri și cheltuieli are următoarea structură matematică:

$$(V - C) = B_t = [(P_d + A_d) - (P_b + A_b) + F_b + F_{ps}]$$

$$B_p = (p_v - p_c); \qquad R\% = \frac{B_p}{p_p} 100 \tag{3-23}$$

în care: V = veniturile; C = cheltuielile; B_t = beneficiul total, P_d, P_b = = vărsămintele către centrală (P_d) și buget (P_b). A_d, A_b = alocațiile de la centrală (A_d) și buget (A_b); F_b = fondul de participare a oamenilor muncii la beneficiu; B_p = beneficiu pe produs; p_v = prețul; p_c = costul produsului; F_{ps} = fondul de părți sociale.

Pentru perfecționarea conducerii sistemelor industriale în general și a sistemelor de energie în particular a fost conceput și aplicat la nivelul economiei românești mecanismul economico-financiar ca o nouă orientare pentru sporirea calității și eficienței producției.

Obiectivele și indicatorii mecanismului economico-financiar cuprind următoarele idei: crearea unui sistem cuprinzător de organe colective în vederea perfecționării activității economico-financiare, a planificării întregii activități, perfecționării finanțării unităților economice și reglarea rentabilității cuprinse în prețuri, precum și îmbunătățirea activității de comerț exterior. Totodată s-au adoptat o serie de măsuri pentru participarea oamenilor muncii la elaborarea și înfăptuirea politicii interne și externe a țării noastre, creîndu-se un cadru democratic pentru participarea celor ce muncesc la conducerea economiei naționale; adaptarea mecanismului economico-financiar nou conceput la cerințele cadrului organizatoric democratic în ideea ca oamenii muncii să gospodărească cu maximă eficiență avuția națională și să fie cointeresați în dezvoltarea forțelor de producție și a creșterii nivelului de trai; introducerea autoconducerii muncitorești și a autogestiunii resurselor cu scopul valorificării eficiente a tuturor resurselor și obținerii de rezultate tehnico-economice superioare. Trecerea la o nouă calitate în întreaga activitate în ideea obținerii unor rezultate de înaltă eficiență și de mare economicitate. Aceste sarcini trebuie realizate prin calificarea profesională a fiecărui lucrător și prin sporirea răspunderii fiecărei întreprinderi pentru elaborarea și ralizarea planului propriu de dezvoltare economico-socială; precizarea structurii bugetului de venituri și cheltuieli și a structurii indicatorilor de eficiență. Introducerea unor indicatori noi: producția netă, producția fizică, productivitatea muncii, fondul total de timp de muncă a întreprinderii, cheltuielile la 1000 lei producție marfă, gradul de folosire a capacității de producție, indicii de utilizare rațională a instalațiilor și de folosire eficientă a resurselor (materii prime, combustibil, energie etc.), reglementarea nivelurilor de resurse stocate; normative de calitate și înnoire a producției, noi normative de personal, valoarea producției nete la 1000 lei fonduri fixe, beneficiu și cursul de revenire inclusiv aportul de valută, indicatori noi de eficiență pentru investiții (beneficiu, producție netă, productivitate, producție marfă și globală, acumularea și aportul de valută la 1000 lei fonduri fixe); îmbunătățirea activității la nivelul centralelor, ministerelor și a celorlalte organe centrale prin perfecționarea conducerii pe bază

de plan a sistemului industrial și îmbunătățirea comerțului exterior și de cooperare economico-internațională în ideea coordonării sistemice a activității pe plan național cu cea de plan internațional. Centralele industriale elaborează, pe baza propunerilor întreprinderilor, planuri proprii pe funcțiuni ale unităților iar ministerele participă nemijlocit la întocmirea acestor planuri. Se introduc în plan numai produsele care au asigurată baza de resurse și se pot desface pe bază de contract ferm. Îmbunătățirea activității de comerț exterior se face prin transpunerea în practică a următoarelor sarcini: asigurarea contractelor pe perioade cît mai lungi, prin cooperare cu întreprinderi din țară și de peste hotare, de către ministere, centrale industriale și alte organe centrale; unitățile producătoare vor răspunde nemijlocit de activitatea de comerț exterior prin livrarea la timp a fondului de marfă prevăzut în contract cu respectarea riguroasă a clauzelor contractuale. Întreprinderile vor introduce în fabricație pentru export, produsele contractate, care asigură o valorificare superioară a materiilor prime și sînt competitive pe plan internațional la prețuri cît mai scăzute.

Conducerea pe bază de plan a sistemului național de energie devine eficientă dacă se concepe și se realizează sistemic. În această concepție activitatea de la nivelul REET se elaborează și se urmărește la următoarele nivele: nivelul cercetării-proiectării prin construirea planurilor de dezvoltare a energeticii românești, astfel ca în condițiile crizei energetice mondiale România să poată realiza în acest deceniu independența sa energetică; nivelul de construcții-montaj prin elaborarea planurilor de montaj a obiectivelor energetice-care au asigurată documentația de investiții; nivelul de exploatare a instalațiilor în funcțiune prin elaborarea planurilor de coordonare a producției cu consumul și prin aplicarea regulamentului de conducere prin dispecer a sistemului energetic. Exploatarea trebuie realizată sistemic, adică trebuie urmărite operativ atît instalațiile de producere, transport și utilizare a energiei la nivelul REET cît și producerea și utilizarea energiei, inclusiv modul de funcționare a instalațiilor energetice din cadrul sectoarelor energetice ale întreprinderilor industriale aparținînd altor ramuri industriale din cadrul economiei naționale. Coordonarea la nivel central a acestor acțiuni permite utilizarea eficientă, atît a resurselor, cît și a instalațiilor energetice cu scopul reducerii consumurilor proprii tehnologice în sistem de la 7% la 5% pînă în 1985 și a micșorării consumurilor specifice de energie în industrie cu circa 40% la 1000 lei producție industrială pînă în 1990 față de anul 1980.

4. CONDUCEREA OPTIMALĂ A SISTEMELOR DE ENERGIE

4.1. Concepte și modele generale de optimizare

Optimizarea conducerii sistemelor de energie se face în ideea satisfacerii cu energie a consumatorilor în condiții tehnico-economice avantajoase. Optimizarea vizează ordinea activității din cadrul unui sistem complex astfel ca desfășurarea evenimentelor să se facă cu pierderi minime. Implementarea conceptului de optim la nivelul unui sistem de energie începe cu ordonarea și modelarea activității în ideea atingerii scopului propus. Optimizarea se obține prin extremizarea unei performanțe sintetice a sistemului analizat (cheltuieli minime, siguranță maximă, consum minim de combustibil, beneficiu maxim etc.) în condiții de restricții tehnologice și funcționale date de corelația sistemului cu mediu. Optimizarea poate avea caracter staționar cînd extremizarea performanței prin maximizare sau minimizare se realizează cu o funcție de eficiență la care variabilele nu depind de timp. Optimizarea la care variabilele sînt dependente de timp are caracter dinamic și poartă denumire de optimizare dinamică.

Modelarea activității în vederea găsirii soluției optime de funcționare a unui sistem complex cum este sistemul de energie se face frecvent cu ajutorul modelelor matematice deterministe și/sau probabiliste. Modelele pot fi construite pentru diverse structuri de sisteme și anume: modele pentru structuri discrete și modele pentru structuri continue. Primele operează cu variabile discrete iar celelalte cu variabile continue. Modelul matematic comportă o funcție de eficiență și un set de restricții tehnologice și funcționale. Restricțiile matematice pot apărea sub formă de egalități și sub formă de inegalități. Metodele de rezolvare a modelelor pentru a găsi extremul funcției de eficiență diferă în cazul cînd restricțiile sînt de tip egalitate de cazul cînd restricțiile sînt de tip inegalitate. Pentru optimizarea activității de perspectivă a sistemului de energie, funcția de eficiență este reprezentată de cheltuielile totale actualizate. Pentru optimizarea activității curente funcția de eficiență se construiește cu ajutorul cheltuielilor anuale de calcul. La studiul dezvoltării optime a lanțurilor energetice conceptul de energie totală poate determina schimbarea concepției actuale de dimensionare a lanțurilor energetice dintre surse și consumatori mai ales cînd atît sursele cît și consumatorii sînt grupate

pe aceleași platforme industriale. Determinarea punctelor în care o activitate dezordonată trece la ordinea cerută de teoria optimizării se poate face cu ajutorul teoriei catastrofelor.

Teoria generală a optimizării cuprinde teoria matematică clasică și teoria matematică avansată a optimizării. Teoria matematică clasică a optimizării operează în problemele de extrem cu calculul diferențial și calculul variațional. Aceste metode deși oferă procedee teoretice pentru obținerea unor soluții analitice sînt inaplicabile în multe probleme pe care le ridică practica. Din acest motiv, la care se adaugă cele legate de derivabilitatea funcției supuse condiției de extrem, s-au găsit procedee iterative de calcul respectiv algoritme care înlesnesc rezolvarea unor probleme complicate de extrem în condiții de restricții deosebit de severe. Teoria matematică avansată operează cu probleme de programare liniară și neliniară, care pot avea caracter staționar sau dinamic. În probleme de optimizare avansată modelele comportă restricții sub formă de egalități sau inegalități din care nu lipsesc restricțiile de nenegativitate.

Problema generală a optimizării urmărește găsirea extremului unei funcții în condiții de restricții impuse. Dacă funcția de eficiență are una sau mai multe variabile care respectă un set de restricții, atunci teoria matematică clasică a optimizării permite găsirea punctelor staționare ale funcției prin anularea derivatei și determinarea rădăcinilor acesteia. Punctele de extrem se află printre rădăcinile derivatei. Pentru a arăta că un anumit punct staționar $(\not p)$ este un punct de extrem se consideră că funcția de eficiență are derivate de ordinul al doilea în acest punct și se trage concluzia că $(\not p)$ este un punct de maxim dacă derivata a doua a funcției în acest punct este mai mică ca zero. Dacă derivata a doua este mai mare ca zero atunci avem un punct de minim. Dacă toate derivatele pînă la ordinul $(n-1)$ sînt nule, iar derivata de ordinul (n) este diferită de zero, atunci avem un maxim sau minim pentru $(n = \text{par})$ cu condiția ca derivata $f^{(n)}_{(\not p)} < 0$ sau $f^{(n)}_{(\not p)} > 0$, cînd $(n = \text{impar})$ atunci $(\not p)$ nu este un punct de extrem. Dacă variabila aparține unui interval închis de valori, atunci rezolvarea problemei prin metode clasice presupune compararea valorilor funcției de eficiență nu numai în punctele de extrem relativ, aflate prin anularea primei derivate, dar și în punctele de la extremitățile intervalului închis. Acest lucru este extrem de greu de realizat în cazul funcțiilor de mai multe variabile. Dacă funcția de eficiență nu este derivabilă, atunci metoda discutată anterior nu se poate aplica la optimizarea activității pe cale clasică.

Pentru a sublinia dificultățile de aplicare a teoriei clasice la optimizarea funcțiilor cu mai multe variabile, se consideră următorul model matematic:

$$f(x_1, \ldots, x_n) = \text{maxim} \tag{4-1}$$

$$f_i(x_1, \ldots, x_n) = 0; \quad 1 \leqslant i \leqslant m \ (m < n)$$

Orice punct $(\not p) = (\not p_1, \ldots, \not p_n) \in R^n$ rezultat din rezolvarea modelului, este o soluție a ecuației (4.1) și se numește punct staționar condiționat al funcției (f).

$$f_i(\not p_1, \ldots, \not p_n) = 0 \quad 1 \leqslant i \leqslant m$$

$$\frac{\partial f_{(\not p)}}{\partial x_j} + \sum_i u_i \frac{\partial f_i(\not p)}{\partial x_j} = 0 \quad 1 \leqslant j \leqslant n \tag{4-2}$$

Numerele reale (u_i) sînt numite multiplicatori Lagrange. Dacă funcțiile (f, f_i) sînt diferențiabile în vecinătatea punctului (p) de extrem condiționat, atunci acest punct este un punct de extrem condiționat. Reciproca nu este în general adevărată.

Dacă asociem funcția lui Lagrange, problemei (4-1) și modificăm relațiile (4-2) atunci se obține modelul:

$$F(x_1, \ldots, x_n;\ u_1, \ldots, u_m) = f(x) + \sum_i u_i f_i(x)$$

$$\frac{\partial F(x_1, \ldots, x_n;\ u_1, \ldots, u_m)}{\partial x_j} = 0;\ 1 \leqslant j \leqslant n \tag{4-3}$$

$$\frac{\partial F}{\partial u_i}(x_1, \ldots, x_n;\ u_1, \ldots, u_m) = 0;\ 1 \leqslant i \leqslant m$$

Printre punctele staționare condiționate din (4-3) se află punctele de extrem condiționat. Verificarea optimalității se face cu ajutorul unei forme patratice dacă funcțiile (f, f_i) au derivate parțiale continue de ordinul al doilea în vecinătatea punctelor staționare condiționate. Metodele calculului diferențial nu se pot aplica la optimizarea unei funcții de eficiență la care nu avem posibilitatea variației continue a variabilelor independente. Această observație este valabilă și pentru cazul utilizării calculului variațional la rezolvarea problemelor de extrem. În problema de energetică generală optimizarea activității se face în funcție de caracteristicile energetice ale instalațiilor examinate. Dacă aceste caracteristici sînt liniare rezolvarea problemei nu întîmpină dificultăți. Dacă caracteristicile energetice ale instalațiilor sînt neliniare, atunci metoda de găsire a extremului funcției de eficiență depinde de restricții. Cînd restricțiile apar sub formă de egalități, atunci rezolvarea problemei se face cu ajutorul multiplicatorilor Lagrange. Cînd restricțiile apar sub formă de inegalități, atunci problema de extrem se rezolvă cu ajutorul funcțiilor de penalizare. Dacă funcția de eficiență este neliniară, atunci extremul căutat trebuie încadrat în condițiile Kuhn-Tucher.

Din inconsistența teoriei clasice a optimizării decurge necesitatea rezolvării problemelor puse de practică prin teoria avansată a optimizării. Această teorie operează cu programare liniară și neliniară, staționară și nestaționară, discretă și continuă care permite rezolvarea unor clase de probleme nerezolvabile pe cale clasică. Problemele de programare pot fi liniare și neliniare. În probleme de programare liniară, funcția de eficiență nu are puncte critice (adică puncte situate în interiorul domeniului examinat al cărui optim depinde de punctele învecinate) și toate punctele sale optimale sînt pe frontieră. Întrucît funcția de eficiență liniară este atît concavă cît și convexă, iar restricțiile liniare se încadrează într-o mulțime convexă, rezultă că avem de-a face cu extreme globale. Optimul într-o problemă de programare liniară se întîlnește într-un punct de frontieră al mulțimii posibile și este un optim global. Optimul într-o problemă de programare liniară este atins fie în punctele extreme, fie într-o mulțime de puncte extreme. În ultimul caz, toate combinațiile convexe ale punctelor extreme sînt de asemenea optimale.

Modelele matematice ale programării liniare au următoarele structuri:

a) Forma standard

$$f(x) = \min (\max)\ (c'x)$$

$$Ax = b \quad x \geqslant 0$$

b) Forma canonică

$$f(x) = \min\ (c'x); \quad f(x) = \max\ (c'x)$$

$$Ax \geqslant b \quad Ax \leqslant b \qquad (4\text{-}4)$$

$$x \geqslant 0 \quad x \geqslant 0$$

c) Forma primală și duală

$$f(x) = \max\ (c'x) \quad f(y) = \min\ (yb)$$

$$A \cdot x \leqslant b \quad yA \geqslant c$$

$$x \geqslant 0 \quad y \geqslant 0$$

Restricția dintr-un program liniar se numește concordă dacă există în probleme de minim o inegalitate de forma ($\geqslant$) și în probleme de maxim o inegalitate de forma ($\leqslant$). Cînd restricțiile sînt concorde și variabilele sînt nenegative atunci programul liniar are formă canonică.

Un program liniar se poate aduce la forma canonică sau standard prin aplicarea următoarelor reguli: schimbarea inegalităților prin înmulțirea lor cu (-1); transformarea inecuațiilor în ecuații cu ajutorul variabilelor de compensare (ecart sau abatere); o problemă de minimizare se transformă într-o problemă de maximizare și viceversa prin schimbarea semnelor coeficienților din cadrul funcției de eficiență.

Modelele de programare liniară aduse la forme standard, respectiv canonică se rezolvă cu ajutorul algoritmului simplex. Algoritmul simplex permite obținerea soluției optime. Prin trecerea de la o bază la alta valoarea funcției de eficiență poate scădea în probleme de minim și poate crește în probleme de maxim. Dacă în astfel de probleme valoarea funcției de eficiență se modifică, atunci nici o bază nu se poate repeta. Astfel, după un anumit număr de iterații se ajunge la programul optim. În acest caz algoritmul simplex este convergent. Dacă valoarea funcției de eficiență nu se modifică după un număr de iterații și se revine la una din bazele deja utilizate, procedeul putînd să continue la infinit fără a se ajunge la soluție se spune că problema ciclează și programul este degenerat. Degenerarea nu implică în mod necesar ciclarea. Programul de bază degenerat apare în cursul aplicării algoritmului simplex, atunci cînd în criteriul de ieșire din bază extremul nu este unic. Pe baza programării liniare se poate rezolva problema transportului purtătorilor de energie de la surse la consumatori, utilizînd o funcție de eficiență liniară. Folosind tehnica programării liniare se pot deduce valorile prețurilor optime denumite și prețuri umbră, care permit obținerea unor soluții ce reflectă cît mai fidel realitatea supusă analizei. Dintre problemele reale care se pot rezolva cu

modele ale programării liniare reţin atenţia: folosirea eficientă a resurselor, transportul purtătorilor de energie între surse şi consumatori, realizarea producţiei în anumite condiţii de stocaj a resurselor; probleme de amestec, utilizarea optimă a capacităţilor de producţie a agregatelor, reducerea pierderilor în diverse procese tehnologice inclusiv probleme de ordonanţare, formarea preţurilor etc.

Programarea neliniară s-a dezvoltat în literatură atît sub forma programării patratice, concavă, convexă, cît şi sub forma programării secvenţiale denumite programare dinamică. Programarea pătratică permite rezolvarea unor probleme cu restricţii liniare şi cu funcţie de eficienţă neliniară sub forma unor funcţii pătratice. Celelalte tipuri de programări neliniare au funcţiile de eficienţă neliniare, iar restricţiile sub formă de egalităţi şi/sau inegalităţi. Dintre tipurile de programări matematice s-au dezvoltat atît programarea în numere întregi care permite rezolvarea unor probleme ce se pot modela cu variabile discrete şi continue, cît şi programare dinamică la care restricţiile se dau sub forma unor şiruri. Aplicarea programării dinamice se recomandă la modelarea proceselor secvenţiale, care se pot descrie atît cu variabile discrete, cît şi cu variabile continue. Modelele matematice pentru programare neliniară se constituie în clase distincte şi au metode diferite de rezolvare. Astfel, în cazul căutării unor extreme (minime) fără restricţii se recomandă aplicarea metodelor de gradient, metoda Fletcher şi Powell, metoda Fibonaci, metoda direcţiilor admisibile, metoda Zoutendijk, metoda Rosen, metoda funcţiilor de penalizare, metoda Fibonacci — Mc Cormick, metoda simplex pentru programarea patratică, metoda Theil-Van de Panne etc. O serie de probleme teoretice şi practice întîlnite în diverse domenii de activitate sînt cele din procesele secvenţiale de decizii şi cele din controlul optimal. Pentru astfel de probleme teoria optimizării operează cu modele de tip Bellman şi modele de tip Pontreaghin, care au următoarea structură matematică:

a) Modele Bellman în variabila discretă şi continuă.

$$\begin{gathered} Q_N(X_N) = \min\left[q_N(X_N \cdot d_N) + q_{j-1}(X \pm \Delta X)\right. \\ X_{j-1} = t_j(X_j, d_j); \quad j = (1, \ldots, n) \\ Q(x, \tau) = \operatorname{minim} \int_{-\tau}^{T} q\,[M(t);\ u(t);\ t]\ \mathrm{d}t \end{gathered} \tag{4-5}$$

b) Modele Pontreaghin în variabilă discretă şi continuă.

$$I_1 = \operatorname*{minim}_{Z_n Y_n}\left[\sum_{n=1}^{N} g_n(Z_{n-1};\ Y_n)\right]$$

$$Z_n = T_n(Z_{n-1};\ Y_n); \quad n = (1, \ldots, N) \tag{4-6}$$

$$I_2 = \operatorname*{minim}_{y;\ x} \int_a^b F[x;\ y(x);\ z(x)]\ \mathrm{d}x$$

$$\frac{\mathrm{d}Z_j}{\mathrm{d}x} = q\,[x;\ y(x);\ z(x)];\ j = (1, \ldots, N)$$

în care: $Q_N(X_N)$; $Q(x, \tau)$ = funcțiile de eficiență de tip cost din structura modelelor Bellman; I_1; I_2 = funcțiile de eficiență tip cost din structura modelelor Pontreaghin, $q_N(X_N; d_N)$ = costul pentru etapa (X_N) la decizia (d_N); X_{j-1} = restricția problemei supusă optimizării; $M(t)$ = starea sistemului la momentul (t); $u(t)$ = comanda; $g[(t); u(t)]$; $g_n(Z_{n-1}Y_n)$; $F[x, y(x); Z(x)]$ $q[x; y(x), Z(x)]$ = funcții supuse optimizării.

Programarea dinamică poate fi cu orizont finit și infinit. Pentru majoritatea problemelor care apar în analiza tehnico-economică a sistemelor trebuie plecat de la orizont finit pentru numărul etapelor în care se poate împărți un proces secvențial.

Principiul optimalității care stă la baza programării dinamice se formulează astfel; o politică optimală are proprietatea că, indiferent de starea inițială și de decizia inițială, deciziile ce se iau ulterior constituie neapărat o politică optimală în raport cu starea care rezultă din prima decizie. Dintre aplicațiile programării dinamice reținatenția următoarele: alocarea resurselor, construirea deciziilor optimale în cadrul proceselor secvențiale, reglarea producției corelată cu înlocuirea utilajelor cu și fără discontinuități în proces, modelarea activităților din cadrul sistemelor industriale cu și fără admiterea restanțelor de livrare; modelarea și soluționarea unor probleme din teoria creșterii aplicată la nivel macroeconomic etc. La rezolvarea problemelor de creștere optimală a unei economii se aplică o serie de modele, concepte și teorii, dintre care reținatenția următoarele: modelele John von Neumann, conceptul de magistrală și conceptul de lag (întîrziere), modelul controlului optimal, modelele semidinamice Klațvog și Satilov, teoria catastrofelor pentru determinarea stabilității sistemelor etc. Pe baza teoriei catastrofelor se poate determina momentul în care trebuie introdus progresul tehnic la nivelul economiei, astfel ca să se păstreze întregul sistem pe o traiectorie eficientă a creșterii economice.

4.2. Modele în teoria controlului optimal și în teoria catastrofelor

4.2.1. Modele în teoria controlului optimal

Conducerea optimală a unui sistem de energie reclamă găsirea traiectoriei de evoluție a structurii și fluxului astfel încît pierderile totale să fie optime în funcție de un anumit criteriu de decizie. Problema conducerii unui sistem economico-ingineresc în teoria controlului optimal constă în determinarea unei comenzi $u(t)$ care extremizează funcționala (I_p) cînd se cunosc următoarele: dinamica sistemului dată de ecuația de stare; restricțiile impuse comenzii și stării sistemului $x(t)$ și un semnal de referință (r) care reprezintă ieșirea dorită. Pentru un sistem cu structură continuă funcționala (I_p) (al cărei extrem se caută) se poate scrie sub forma:

$$I_p = \int_{t_1}^{t_2} L\,[x(t)\,;\,u(t)\,;\,t]\,\mathrm{d}t + M(x_0;\,t_0;\,x_f;\,t_f)\,; \qquad (4\text{-}7)$$

Prin particularitatea funcțiilor (L și M) se obțin următoarele probleme de optimizare: ($L \neq 0$; $M = 0$) problema de tip Lagrange; ($L = 0$; $M \neq \neq 0$) probleme de tip Mayer; ($L \neq 0$; $M \neq 0$ probleme de tip Bolza. În probleme de conducere optimală trebuie cunoscută strategia după care se orientează sistemul modelat. Această orientare se determină prin precizarea comenzii $u(t)$ și stabilirea strategiei de evoluție a sistemului. Problema se poate rezolva fie prin utilizarea modelelor matematice Euler-Lagrange fie prin folosirea modelelor tip hamilton. Modelul matematic Euler-Lagrange scris la nivelul unui microsistem energetic are în structura sa o funcțională de forma:

$$F_{E-L} = \min \int_{t_1}^{t_2} f(P_i\,;\, P_i'\,;\, t)\ \mathrm{d}t \tag{4-8}$$

în care: P_i = puterea instalată; P_i' = derivata puterii; t = durata de funcționare a instalațiilor în regim optim. Din teoria calculului variațional se știe că dacă se dă o variație funcționalei (F_{E-L}) de forma (ΔF_{E-L}) atunci condiția de extrem (minim) se respectă cînd (ΔF_{EL}) = 0, ceea ce revine o scrie o relație matematică de forma:

$$\Delta F_{E-L} = \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{\partial F}{\partial P}\, \partial P(t) + \frac{\partial F}{\partial P'}\, \partial P'(t) \right] \mathrm{d}t \tag{4-9}$$

Integrînd prin părți al doilea termen din expresia (ΔF_{E-L}) și făcînd calculele necesare rezultă condiția căutată sub forma:

$$\Delta F_{E-L} = \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{\partial F}{\partial P} - \frac{d}{\mathrm{d}t}\, \frac{\partial F}{\partial P'} \right] \mathrm{d}t = 0 \tag{4-10}$$

Dacă se notează $c_s = \dfrac{\partial F}{\partial P}$ și $c_m = \dfrac{d}{\mathrm{d}t}\, \dfrac{\partial F}{\partial P'}$ se și impune condiția ca $\Delta F_{EL} = 0$, rezultă că $c_s = c_m$, adică tocmai soluția optimă de funcționare a sistemului la care consumul de resurse este minim. Dacă ($c_s > c_m$) atunci este indicat ca la variația cererii să se modifice volumul producției, iar dacă ($c_s < c_m$), atunci este mai avantajos să se treacă în stoc rezerva de combustibil.

În problema de minimizare a unei funcționale, condițiile de ortogonalitate și generalizarea lor sub denumirea de condiții de transversalitate joacă un rol esențial. Pentru a arăta cum se aplică condițiile de transversalitate la găsirea soluției optime de comandă a unui sistem multivariabil se presupune cunoscuta ecuație de stare a sistemului sub forma $\dot{x} = f(x, u)$. Problema conducerii optimale a unui sistem complex (multivariabil) constă în determinarea legii de comandă $u(t)$ pe intervalul ($t_1 \ldots t_2$) care transformă starea sistemului x_1 de la timpul t_1 în starea x_2 la timpul t_2 și dă o valoare minimă funcționalei I_p.

$$I_p = \int_{t_1}^{t_2} f_1(x, u)\ \mathrm{d}t = \text{minim} \tag{4-11}$$

Problema se poate rezolva aducînd-o la forma Mayer, scrisă astfel:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \lambda_1 [x_i - f_i(x, u)] \tag{4-12}$$

Condiția de transversalitate se scrie pe baza ecuațiilor Euler-Lagrange pentru (λ_i; x_i și u_i) din care rezultă $F_{xi} \neq 0$; $F_{\lambda i} = 0$; $F_{u_i} = 0$ și se obține relația:

$$\mathrm{d}x_i + \left(F - \sum_{i=1}^{n} \dot{x}_i F_{x_i}\right) \mathrm{d}t + \sum_{i=1}^{n} F_{\dot{x}_i} \cdot \mathrm{d}x_i = 0 \tag{4-13}$$

Dacă se notează prin $H = \lambda_i \cdot x_i - F = \sum \lambda_i f_i(x, u)$ denumit hamiltonian, atunci condiția de reglare optimală a sistemului apare sub forma ecuațiilor lui Hamilton de forma:

$$-\frac{\partial H}{\partial x_i} = \frac{\mathrm{d}x_i}{\mathrm{d}t}; \qquad \frac{\mathrm{d}x_j}{\mathrm{d}t} = -\frac{\partial H}{\partial x_j}; \qquad \frac{\partial H}{\partial u_i} = 0; \tag{4-14}$$

$$i = 1, \ldots, n; \quad j = (1 \ldots, r)$$

Condiția de transversalitate pentru formarea hamiltonianului a problemei de conducere la nivelul sistemului multivariabil se poate scrie astfel:

$$\mathrm{d}x_0 - H\ \mathrm{d}t - \sum \lambda_i\ \mathrm{d}x_i = 0 \tag{4-15}$$

După determinarea structurii ecuațiilor ce guvernează comportarea sistemului trebuie precizată legea de comandă astfel ca valoarea hamiltonianului să permită evoluția sistemului prin stările descrise de strategia optimă de conducere a întregului sistem. Interpretarea multiplicatorilor Lagrange și a variabilelor adjuncte din cadrul modelelor Euler-Lagrange și Pongtreaghin se referea la faptul că multiplicatorii Lagrange măsoară eficiența utilizării resurselor, iar variabilele adjuncte evaluează eficiența utilizării variabilelor de stare.

Conducerea optimală a unui sistem complex alimentat cu o resursă $R'(t)$ în timpul (t) se poate realiza plecînd de la un model de forma:

$$I_p = \int_{t_1}^{t_2} U \cdot C(t)\, e^{-\gamma t}\, \mathrm{d}t$$

$$C(t) + I(t) = F\,[R'(t)]$$

$$R'(t) + I(t) = \mathrm{d}R'(t) \tag{4-16}$$

$$s(t) = \frac{I(t)}{F\,[R'(t)]}; \qquad 0 < s(t) \leqslant 1$$

$$\gamma > 0; \quad U' \cdot C(t) > 0; \quad U'' \cdot C(t) > 0$$

S-a notat prin (d) rata de depreciere a fondurilor fixe și prin $s(t)$ rata de acumulare. Se știe că o rată mică a acumulării încetinește ritmul de creștere și

ceea ce este planificat nu se poate realiza în condiții optime, iar o rată exagerată a acumulării micșorează posibilitatea de reproducție calitativă și cantitativă a resurselor umane planificate, încetinind direct ritmul de creștere a producției.

Formarea hamiltonianului prin introducerea funcției auxiliare (f_a) și a variabilei de stare $R(t)$, respectiv a variabilei de comandă s conduce la o expresie matematică de forma:

$$H = U(1 - s)\, F\,[R(t)]\, e^{-\gamma t} + f_a\,[sF \cdot R(t)] - f_a\,[dR(t)] \qquad (4\text{-}17)$$

O politică de conducere a unui sistem complex este optimală dacă există o funcție continuă, astfel încît derivata hamiltonianului, în raport cu resursa să respecte relația:

$$f_a = -\frac{\partial H}{\partial\,[R(t)]} = \{U'(1 - s)\, F\,[R(t)]\, e^{-\gamma t} + U''(1 - s)\, F'\,[R(t)]\, e^{\gamma t} +$$

$$+ f_a\, sF'\,[R(t) - R(t)\, d]\}$$

Dacă funcțiile (F) și (U) sînt concave atunci pentru $R(t)$ și (F) dați H are valoarea maximă pentru o comandă $s(0 < s \leqslant 1)$ considerată optimală.

Funcțiile auxiliare (f_a) arată cu cît crește (H) cînd acumularea crește cu o unitate. Se arată că s este o comandă optimală și planificarea respectă strategia optimă de conducere, dacă coeficientul de eficiență a acumulării (p_{ac}) coincide cu utilitatea diferențială a consumului (U') conform relațiilor:

$$\dot{U} = U' \cdot \dot{F}\,[R(t)] + U''(p_{ac} + d)$$

$$p_{ac} = f_a \cdot e^{-\gamma t} = \dot{U}; \qquad (4\text{-}19)$$

$$F\,[R(t)] = \left[p_{ac} + d - \frac{\dot{U}}{U}\right]$$

Aceste restricții arată că eficiența marginală a fondurilor de producție depinde de coeficientul (p_{ac}), de rata de depreciere a fondurilor fixe (d) și de ritmul de creștere a utilității marginale.

Pe baza acestor tipuri de modele se pot construi strategii de conducere optimală a sistemelor complexe, astfel ca printr-o planificare judicioasă a producției să se satisfacă cererea de produse în concordanță cu politica optimală impusă prin comandă. Dacă ecuația de stare a sistemului respectă un model imput-output atunci derivata mărimii de stare conține matricea a cărei valori proprii reprezintă traiectoria Neuman. Pentru a menține sistemul pe această traiectorie este necesar ca la resursa internă a sistemului să se adauge o nouă resursă prin comandă. În general problemele de echilibru dintre resursă și modul ei de utilizare într-un sistem neomogen se rezolvă prin trecerea ei în structura unui sistem omogen, care respectă traiectoria Neuman. Pentru probleme de timp minim cînd se cere trecerea rapidă de la o stare dată la starea de echilibru a unui sistem liniar se face apel la modelele Pontreaghin și se obține soluția optimă pe baza respectării condițiilor impuse sistemului analizat de relațiile hamilton.

Modelele de conducere operativă a producției pentru determinarea variantei optime se construiesc atît pentru termen scurt, cît și pentru termen lung și vizează coordonarea capacităților de producție cu sarcinile de plan, astfel ca eroarea dintre soluția reală și cea optimă prinsă în plan să fie minimă. Ecuațiile de stare ale sistemului se pot scrie astfel:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + Bu(k) + CS(k) \\ &\vdots \qquad\quad \vdots \qquad\quad \vdots \qquad\quad \vdots \\ x_n(k+1) &= A \cdot x_n(k) + Bu_n(k) + CS_n(k) \end{aligned} \tag{4-20}$$

Abaterea vectorului de stare $x(k+1)$ față de $x_n(k+1)$ se obține scăzînd cele două ecuații și rezultă:

$$\begin{aligned} e(k+1) &= A\,[x(k) - x_n(k)] + B\,[u(k) - u_n(k)] + \\ &+ C\,[S(k) - S_n(k)] = A \cdot e(k) + Br(k) + Cd(k) \end{aligned} \tag{4-21}$$

Optimizarea abaterii implică minimizarea diferenței dintre vectorii de stare reală față de cea dorită, minimizarea deviației de la nivelul dorit al manoperei $r(k)$ și minimizarea abaterii ritmului real $S(k)$ de la ritmul mediu nominal de producție $S_n(k)$.

Modelul pentru corectarea parametrilor cunoscuți ai producției pe termen scurt are în structura sa următoarea funcție de performanță:

$$I_p = e^t(k+1)\, M_p e(k+1) + r^t(k)\, M_p r(k) \tag{4-22}$$

în care: M_p = matricea de ponderare a mărimii $e(k+1)$ și $r(k)$. Prin condiția de extrem (minim) rezultă $M(k)$ din care se deduce apoi vectorul $u(k)$. Pentru a găsi vectorul $r(k)$ care minimizează funcționala (I_p) se face apel la calculul variațional și se obține soluția:

$$r(k) = B^t\,[M_x d(k)] + B^t M_p\,[Ae(k)]\,[B^t M_x B + M_p r(k)]^{-1} \tag{4-23}$$

Această soluție stă la baza strategiei de comandă și formează structura algoritmului de decizie pentru conducerea optimală a sistemului analizat.

Modelul de conducere operativă a producției pe termen lung construit pe baza corecției mărimilor reale față de cele planificare are în structura sa următoarea funcțională:

$$M_p\,[e(0), N] = \sum_{k=0}^{N} e^t(k)\; M_p\,[e(k)] + r(k)^t\; M_p[r(k)] \tag{4-24}$$

Pentru găsirea extremului (minim) al acestei funcționale în condiții de restricții impuse sistemului de mediu se utilizează principiul lui Bellman. Se urmărește determinarea unui șir $r(k)$ pentru $(k = 1 \ldots N)$ etape astfel ca să rezulte comanda optimă prin minimizarea funcțională ei de tip Bellman.

Conducerea optimală a sistemelor de energie implică rezolvarea următoarelor tipuri de probleme: problema timpului minim de trecere a sistemului dintr-o stare inițială în starea finală dorită cu ajutorul unei comenzi admise. Această clasă de probleme se poate rezolva cu modelele Euler-Lagsange sau

cu modelele de tip Mayer; problema consumului minim de combustibil se pune la trecerea unui sistem dintr-o stare inițială în alta denumită finala cunoscută cînd este necesar să se determine strategia de conducere astfel ca să se respecte condițiile impuse: problema energiei consumate minime se pune pentru toate categoriile de consumatori, care nu au sursă proprie de alimentare și preiau energia din sistemul energetic; problema controlului inițial sau a controlului final se rezolvă fie pe baza modelelor Mayer, fie pe baza modelelor Bolza.

Funcționalele din cadrul modelelor care permit determinarea consumului minim în probleme de conducere optimală se pot scrie astfel:

$$I_{pa} = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^{m} c_j \mid u_j(t) \mid dt; \quad c_j > 0$$

$$I_{pb} = \int_{t_1}^{t_2} \left(k + \sum_{j=1}^{m} c_j \mid u_j(t) \mid \right) dt \tag{4-25}$$

Performanța (I_{pa}) permite rezolvarea problemelor de timp minim, iar performanța (I_{pb}) înlesnește prin extremizare rezolvarea problemei de conducere optimală reunind două criterii și anume: criteriul timpului minim și criteriul combustibilului minim. În cadrul funcționalei (I_{pb}) mărimea ($k > 0$) exprimă ponderea timpului minim în comparație cu combustibilul minim. Dacă structura sistemului supus analizei este complicată atunci rezolvarea ecuațiilor de stare care permite determinarea traiectoriilor optimale se poate face cu ajutorul metodelor numerice. Se cunoaște o mare diversitate de metode de rezolvare numerică a problemelor de conducere optimală a sistemelor mari. Orice metodă de rezolvare numerică a problemelor de conducere optimală este legată direct sau indirect de metoda generală de optimizare care poate fi o metodă variațională clasică sau o metodă bazată pe principiul Bellman.

Condițiile de optim în problemele sistemelor mari se pot formula în maniera calculului variațional și a principiului Pontreaghin astfel:

a) Precizarea modelelor matematice ale traiectoriilor optimale sub forma de ecuații diferențiale.

b) Precizarea structurii ecuațiilor diferențiale ale sistemului adjunct.

c) Precizarea condițiilor inițiale și finale.

d) Stabilirea condițiilor de extrem pentru funcționalele Euler-Lagrange sau Hamilton.

Problemele de conducere optimală se formulează în funcție de caracterul procesului și se rezolvă cu diverse tipuri de metode cum ar fi: metode de gradient pentru determinarea traiectoriei optimale a evoluției sistemelor care permit selectarea soluțiilor modelelor (*a* și *b*) prin introducerea iterativă a condițiilor (*c* și *d*); metode de tip Newton — Raphson utilizate pentru găsirea soluției de comandă optimală cînd sînt îndeplinite condițiile (*c* și *d*) și se cere introducerea prin iterație a condițiilor (*a* și *b*) și metoda aproximării succesive.

Proiectarea conducerii sistemelor inginerești presupune determinarea comenzilor optimale, modelarea și integrarea ecuațiilor de stare și calculul

legii de comandă optimală. Comenzile rezultă din formularea și minimizarea hamiltonianului în condiții de restricții impuse. După această etapă se trece la determinarea extremelor care trec prin punctul inițial prin rezolvarea problemei bilocale. Dacă toate extremalele au fost calculate atunci se trece la stabilirea comenzii optimale prin evaluarea costului de-a lungul fiecărei extremale și prin compararea costurilor se selectează comanda dorită. Dacă comenzile extremale nu sînt unice, atunci problema se tratează mult mai dificil. Din acest motiv se acordă o deosebită atenție unicității extremalelor. În general, dacă se dă o metodă numerică iterativă pentru rezolvarea unei probleme de conducere, atunci trebuie să se verifice dacă sînt asigurate condițiile rezonabile pentru convergență, ce eroare se obține prin aplicarea în practică a metodei și ce efect are eroarea asupra rezultatului calculului numeric.

Conducerea sistemelor de energie se realizează prin strategia comenzii optimale care are la bază: cunoașterea structurii sistemului, a fluxului de energie și a rețelei de calculatoare de proces; organizarea ierarhică a întregului sistem pentru realizarea operativă a comenzilor de conducere de la dispecerul național spre dispecerii teritoriali și pentru colectarea informațiilor pe circuitul producției-conducere; conținutul programelor de optimizare în timp real a regimului de funcționare a sistemului pe baza modelului matematic și a restricțiilor impuse de mediul sistemului; urmărirea rezultatelor obținute și corectarea consumurilor realizate astfel ca abaterea regimului real de funcționare a sistemului de la regimul optim să fie practic egală cu zero în planul de dezvoltare a întregului sistem. La nivelul sistemelor de energie comanda optimală trebuie să asigure atît fiabilitatea instalațiilor cît și economicitatea regimurilor în condiții reale de păstrare a calității energiei.

4.2.2. Modele în teoria optimală a catastrofelor

Modelarea sistemelor de energie se poate realiza cu modele cantitative și modele calitative. Construirea modelelor calitative face apel la teoria stabilității structurale denumită și teoria catastrofelor bazată pe dinamica calitativă a sistemelor complexe. Teoria catastrofelor modelează fenomenele care prezintă discontinuități în comportament datorită schimbărilor continui la nivelul parametrilor. Pentru a studia regimurile de funcționare ale sistemelor complexe în vederea determinării regimului stabil de funcționare se exprimă vectorul de stare a sistemului cu o funcție de potențial de tip gradient ținînd cont de mărimile de comandă. Regimurile stabile ale sistemului analizat se determină prin minimele funcției de potențial. Aceste minime locale se numesc atractori. Numai unul din acești atractori poate guverna reglarea procesului într-un anumit punct. Alegerea acestui atractor se face pe baza convenției propusă de Maxwell care arată că în cazul a mai mulți atractori stabili aflați în competiție într-un punct, va cîștiga acela cu cel mai mic potențial asociat. Un punct oarecare dintr-o mulțime deschisă din spațiul-timp cu patru dimensiuni (R^4) este numit punct de catastrofă în două situații și anume: cînd funcția de potențial atinge minimul absolut în două puncte distincte denumite puncte de conflict și cînd funcția de potențial atinge un minim absolut într-un singur punct numit punct de bifurcație.

În punctele de bifurcație regularitatea funcției de potențial (valoarea sa reziduală) nu depinde de dimensiunea spațiului în care se definește funcția. Pe baza acestei proprietăți se pot identifica tipurile de catastrofe și originele lor dinamice fără a face apel la toți parametrii interni de care depinde sistemul.

Principalele proprietăți ale catastrofelor elementare sînt: bimodalitatea care arată că observațiile statistice se grupează în jurul a două valori; discontinuitatea provocată de apariția unor variații mari în comportamentul sistemului la schimbări mici ale parametrilor săi; histeresisul care reclamă un răspuns întîrziat la schimbarea stimulilor și divergența condiționată de evoluția foarte apropiată a condițiilor inițiale către stările finale net distincte ale sistemului. Deci există trei aspecte ale problemei și anume: condiția de echilibru, prag al stimulilor peste care sistemul se îndepărtează de echilibru și revenirea la echilibru de bază dacă nu s-a depășit pragul maxim admis.

Modelarea sistemelor de energie în teoria topologiei diferențiale (teoria stabilității structurale) face apel la două clase de variabile și anume: variabile rapide (variabile de stare) și variabile lente (variabile de comandă). Aceste variabile apar în structura funcției ce modelează regimul de funcționare a sistemului. Funcția de modelare poate fi o funcție de potențial, o funcție entropică sau o funcție cost. Dacă există o anumită informație asupra funcției de modelare atunci se pot face referiri la existența unei traiectorii care conduce sistemul la punctul de echilibru. Se mai poate afirma că există situații la care cunoscîndu-se traiectoria ce dirijează sistemul spre echilibru este necesar să existe o funcție de modelare fidelă acestei traiectorii. Teoria catastrofelor urmărește determinarea schimbărilor în comportamentul sistemului cînd apar perturbații la nivelul variabilelor lente cu condiția ca variabilele rapide să respecte ecuația de dinamică a sistemului analizat. Pentru modelarea calitativă a sistemelor de energie se utilizează funcții netede adică funcții cu derivate continue de orice ordin. Forma locală a funcției de modelat este stabilă dacă se schimbă lent și neted originea axelor de coordonate în funcție de tipul perturbației. O funcție de modelare $f : R^n \to R$ cu derivata întîi egală cu zero în orice punct se numește funcție Morse și este structural stabilă. O perturbație netedă a unei funcții Morse se poate scrie ca și originalul ei printr-o schimbare de coordonate. Două curbe respectiv suprafețe sînt transversale dacă se întîlnesc într-un punct. Atît transversalitatea cît și proprietatea „Morse" ale funcțiilor sînt condiții de bază ale stabilității structurale. Teoria bifurcației din cadrul dinamicii calitative arată că schimbările în comportamentul sistemelor mari se datoresc distrugerii unor atractori structural stabili prin variația unui cîmp de vectori. Efectele unor astfel de schimbări se numesc catastrofe. Studiul lor se poate face numai dacă dinamica locală este de natura unui gradient adică evoluția tinde spre un minim local. În acest caz se poate aplica conceptul de „desfășurare universală" a singularității concretizată în modelul de comportament al sistemului afectat de perturbații tipice care generează anumite clase de catastrofe. Aceste relații sînt denumite și modele optimale ale teoriei catastrofelor. Dacă procesul modelat este de tip gradient atunci funcția de potențial care îmbracă evoluția sistemului aparține unui model cunoscut de catastrofă elementară. Încadrarea funcției potențial a sistemului dinamic modelat într-o formă sau alta de catastrofă se face cu

ajutorul testelor pe baza datelor prelevate din proces. Modelarea calitativă a sistemelor de energie beneficiază de următoarele avantaje: utilizează modele globale care permit elaborarea unor soluții operative prin compararea unui număr finit de posibilități, permite crearea modelelor agregat în forma lor de optimizare; aplicarea modelelor de tip gradient cu patru parametri de comandă deci controlarea sistemului se face pe baza unui număr mic de parametri. Modelele de catastrofă permit caracterizarea structurii și evoluției sistemelor dinamice de mari dimensiuni și furnizează elemente pentru construirea și aplicarea deciziilor în conducerea sistemelor de energie. Teoria catastrofelor avertizează asupra faptului că schimbările continue și perturbațiile din sistem pot provoca rezultate discontinue pentru a căror recuperare se cere un efort postcatastrofă mult mai mare decît prevenirea declanșării catastrofelor.

Modelele în teoria optimală a catastrofelor se pot construi pentru fenomene care se dezvoltă în salt ca urmare a acumulărilor cantitative. Teoria catastrofelor permite determinarea comportării sistemelor dinamice cînd apar punctele de salt denumite și puncte de catastrofă. Salturile pot imprima fenomenelor din sistem o stare de ordine sau pot dezorganiza regimul de funcționare a întregului sistem producînd o catastrofă. Menținerea sistemului în situația de echilibru prin evitarea punctelor de catastrofă implică un efort care se poate cuantifica pentru fiecare situație în parte. În urma efortului, sistemul deși a trecut printr-o dezvoltare în salt își poate îmbunătăți performanțele și poate contribui la reducerea efortului făcut prin efectul tehnico-economic al întregii activități. Modelarea matematică a activității din sistemele cu structură continuă în teoria catastrofelor se realizează cu ajutorul ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care permit determinarea modului de comportare al sistemului. Comportarea sistemului depinde de parametrii de control ai modelelor de catastrofă. Metodologia de rezolvare a problemelor din cadrul sistemului ce prezintă salturi în comportament are la bază considerații matematice bazate pe aproximările seriei Taylor, pe metode geometrice de topologie diferențială și pe metode algebrice. Pentru modelarea matematică a comportării sistemului care trece prin (n) stări și are (m) parametri de control se determină starea sa pentru un anumit mod al comportamentului (x). Dacă se consideră că spațiu de control se mătură cu doi parametri sintetici efortul pentru realizarea și menținerea stării dorite (E_{sd}) și eficiența de utilizare a instalațiilor din structura sistemului (E_{ut}) atunci prin corelarea acestor doi parametri care pot fi în cooperare sau conflict (situația de conflict este mai des întîlnită) se poate ca prin extremizarea lor (min E_{sd} și max E_{ut}) să se obțină situația preferată (de succes) a evoluției în salt a structurii energotehnologice analizate. Reprezentarea suprafeței de comportament a unui sistem în funcție de (E_{sd}) și (E_{ut}) va permite delimitarea părții de succes, de partea de insucces în evoluția sistemului și poate fi făcută cu ajutorul unei ecuații diferențiale în R^3 de forma:

$$\begin{aligned} \dot{x}' &= -x^3 + (E_{sd} + E_{ut})\,x + E_{sd} - E_{ut} = -(x^3 + ax + b) \\ a &= (E_{sd} + E_{ut})' = -2(E_{sd} + E_{ut}) - 2x = -2a - 2b \\ b &= (E_{sd} - E_{ut})' = -(E_{sd} + E_{ut}) - 1 = -a - 1 \end{aligned} \tag{4.26}$$

Suprafața de comportament și punctul de echilibru se determină astfel:

$$x^3 + (E_{ut} + E_{sd})\, x + E_{sd} - E_{ut} = 0$$
$$x = 0; \quad a = 0; \quad b = 0 \tag{4-27}$$

în care: a = factorul de bifurcație; b = factor normal. Starea (V) a sistemului cînd parametri de control au valorile ($a_1 \ldots a_m$); suprafețele de succes (partea haşurată) cînd sistemul pleacă din origine sau vine la originea axelor de coordonate și drumurile de aducere bruscă (α') și aducere lentă (β') a sistemului în zona de stabilitate se pot urmări pe figura (4.1) (4.2) (4.3). Interpretarea drumurilor (α' și β') pentru evoluția unui sistem energetic se poate face pentru două situații frecvent întîlnite în practică și anume: schimbarea tehnologiei de producere a energiei prin înlocuirea combustibilului superior cu combustibil inferior datorită creșterii exponențiale a prețului petrolului (drumul α') și aplicarea unui regim sever de economii care să mențină sistemul în zona de stabilitate aproape de origine și să permită obținerea eficienței așteptate (drumul β').

O astfel de abordare a problemei permite modelarea cantitativă a unor situații ce prezintă discontinuitate în evoluție prin salturile generate în structura regimurilor de funcționare a sistemelor complexe.

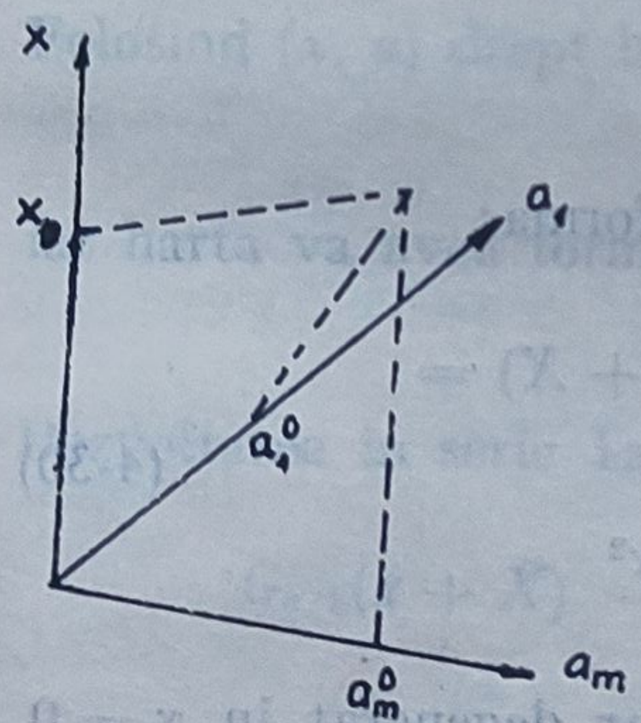


Fig. 4.1.

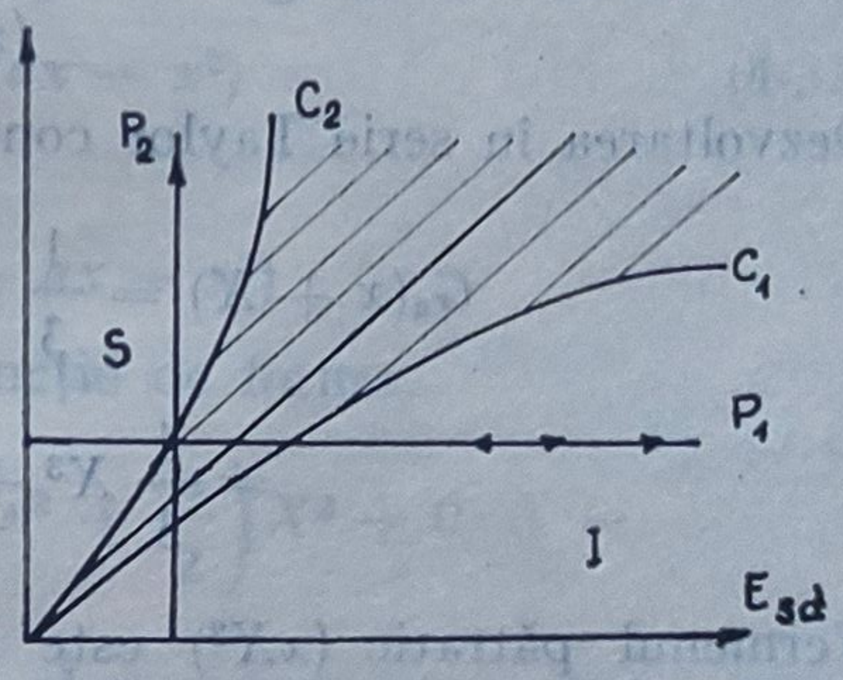


Fig. 4.2.

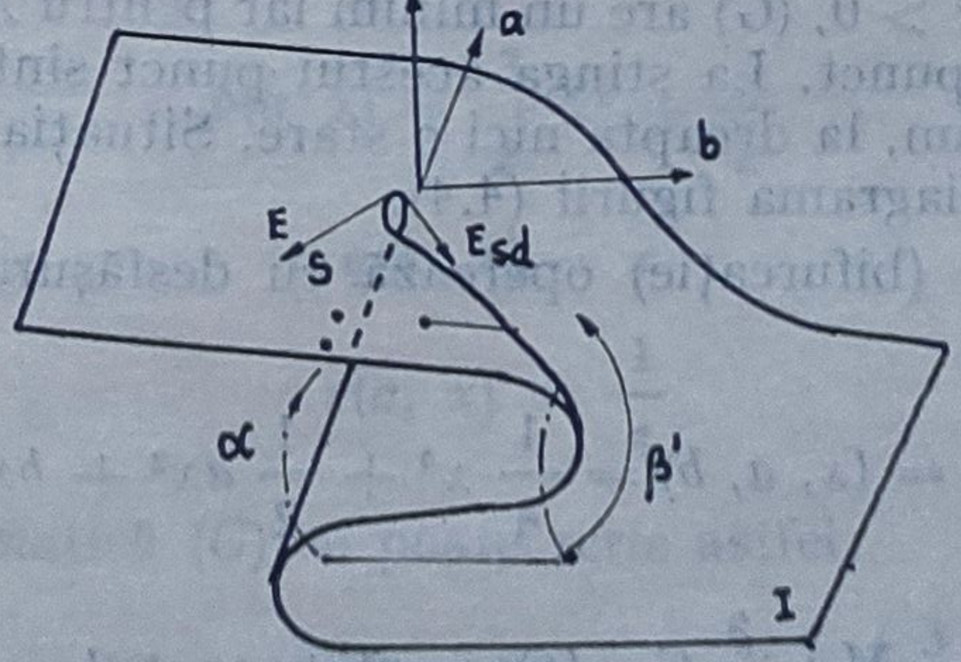


Fig. 4.3.

DIAGRAMA DE REPREZENTARE A CATASTROFEI ELEMENTARE

Funcțiile de eficiență ale modelării matematice a unor asemenea regimuri în ideea evitării punctelor de catastrofă se pot scrie astfel:

$$Z_{cas} = (C_{cas} - E_{ut}) + p_n(I_{cas} + E_{sd})$$
$$Z_{cas}^{tac} = \{b_{tac}[(I_{cas} + E_{sd}) + (C_{cas} - E_{ut})] - R_{cas}^{tac}\} \quad (4\text{-}28)$$

în care: C_{cas}; I_{cas}; R_{cas} = cheltuielile, investițiile și valoarea reziduală a instalației la dezafectare.

Principalele tipuri de catastrofe și modelele care descriu comportările unor sisteme dinamice la perturbații se dau în cele ce urmează sub forma analitică și grafică.

Modelul „FOLD" (cuta) redă cea mai simplă formă de catastrofă și operează cu o desfășurare universală canonică de forma:

$$G(x, a) = \frac{1}{3} x^3 + ax$$

$$M : \frac{\partial}{\partial x} G(x, a) = x^2 + a = 0 \quad (4\text{-}29)$$

Ecuația sugerează folosirea coordonatei (x) drept hartă pentru M (ca varietate diferențiabilă). Punctul general va fi:

$$(x, a) = (x_1 - x^2)$$

Dezvoltarea în serie Taylor conduce la o relație de forma:

$$G_a(x + X) = \frac{1}{3}(x + X)^3 + (-x^2)(x + X) =$$
$$= \frac{1}{3} X^3 + xX^2 + 0 \cdot X - \frac{2}{3} x^2 \quad (4\text{-}30)$$

Termenul pătratic (xX^2) este nedegenerat $x \neq 0$ dar degenerat în $x = 0$. Deci mulțimea singularităților este dată de $x = 0$ și constituie punctul $(0, 0)$ în M.

Pentru $x > 0$, $X^2 > 0$, (G) are un minim iar pentru $X < 0$ are un maxim și rezultă un singur punct. La stînga acestui punct sînt două stări, una de minim și una de maxim, la dreapta nici o stare. Situația analitică prezentată se poate urmări pe diagrama figurii (4.4).

Modelul „CUPS" (bifurcație) operează cu desfășurare universală canonică de forma:

$$G = (x, a, b) = \frac{1}{4} x^4 + \frac{1}{2} ax^2 + bx \quad (4\text{-}31)$$

$$M : \frac{\partial}{\partial x} G_{a,b}(x) = x^3 + ax + b$$

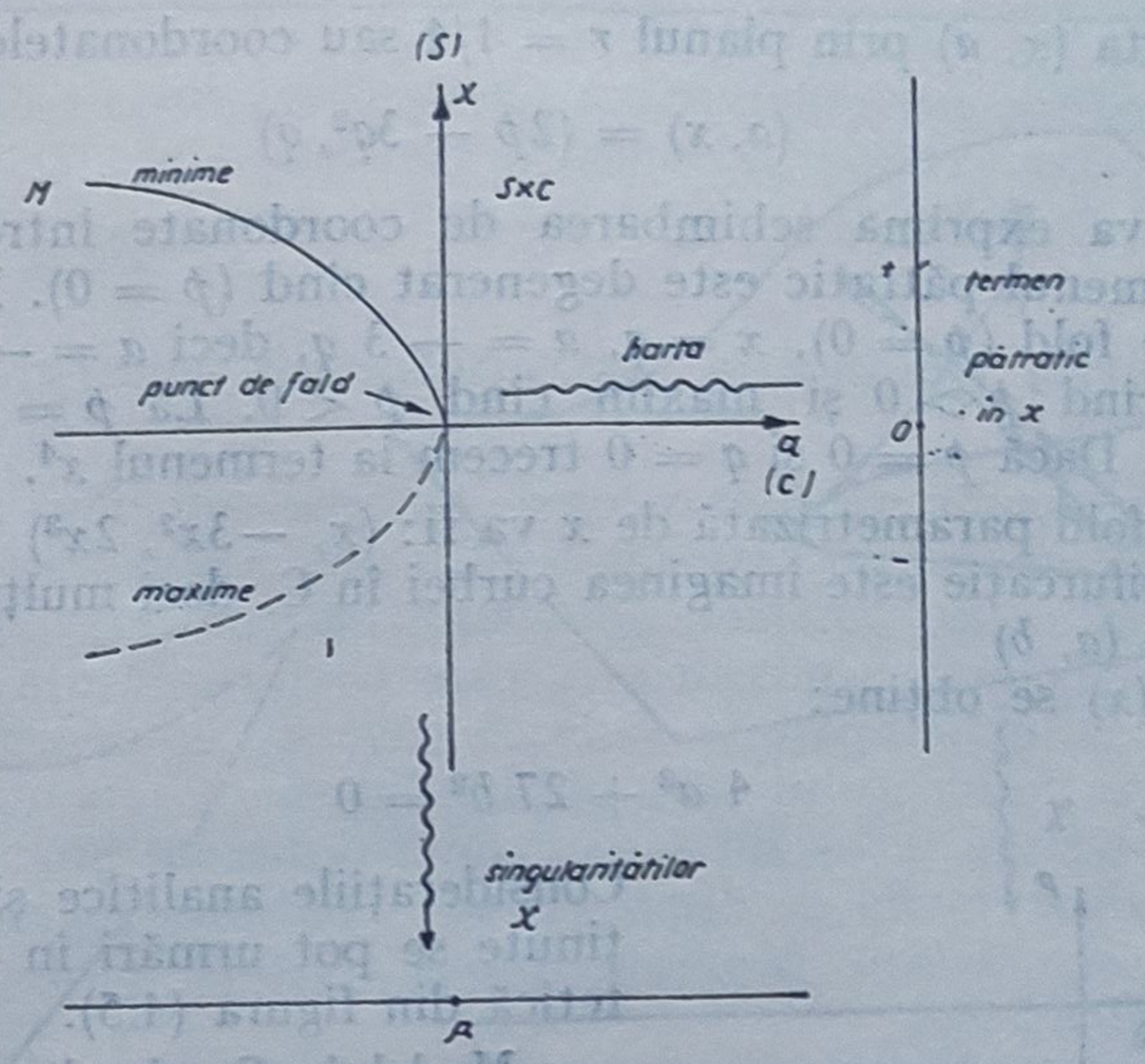


Fig. 4.4.
DIAGRAMA CATASTROFEI „FOLD"

Folosind (x, a) drept hartă pentru M atunci punctul general în M va fi:

$$(x, a, b) = (x, a - ax - x^2) \tag{4-32}$$

iar harta va avea forma:

$$IR^2 \to M(x,a)\ (x, a - ax - x^3)$$

Dezvoltarea în serie Taylor conduce la o funcție de forma:

$$G_{a,b}(x + X) = \frac{1}{4}x^4 + xX^3 + \left(\frac{3}{2}x^2 + \frac{a}{2}\right)X^2 + 0 \cdot X -$$

$$-\left(\frac{3}{4}x^2 + \frac{a}{2}x^2\right)$$

Dacă se notează:

$$p(a, x) = \frac{3}{2}x^2 + \frac{a}{2}$$

$$q(a, x) = x \tag{4-33}$$

$$r(a, x) = \frac{1}{4}$$

atunci funcția matematică (G) se poate scrie astfel:

$$G_{a,b}(x + X) = rX^4 + qX^3 + pX^2 + 0 \cdot X - \left(\frac{3}{4}x^4 + \frac{a}{2}x^2\right) \tag{4-34}$$

Schimbăm harta (x, a) prin planul $r = 1/4$ sau coordonatele (p, q) cu:

$$(a, x) = (2p - 3q^2, q) \tag{4-35}$$

Noua relație va exprima schimbarea de coordonate între harta veche și cea nouă. Termenul pătratic este degenerat cînd $(p = 0)$. Imaginea în (M) va fi curba de fold $(p = 0)$, $x = q$, $a = -3q$, deci $a = -3x^2$. Vom avea minim local cînd $p > 0$ și maxim cînd $p < 0$. La $p = 0$ facem apel la termen cubic. Dacă $p = 0$ și $q = 0$ trecem la termenul x^4.

Curba de fold parametrizată de x va fi: $(x, -3x^2, 2x^3)$
Mulțimea de bifurcație este imaginea curbei în C, deci mulțimea de puncte:
$(-3x^2, 2x^3) = (a, b)$
Eliminînd pe (x) se obține:

$$4a^3 + 27b^2 = 0 \tag{4-36}$$

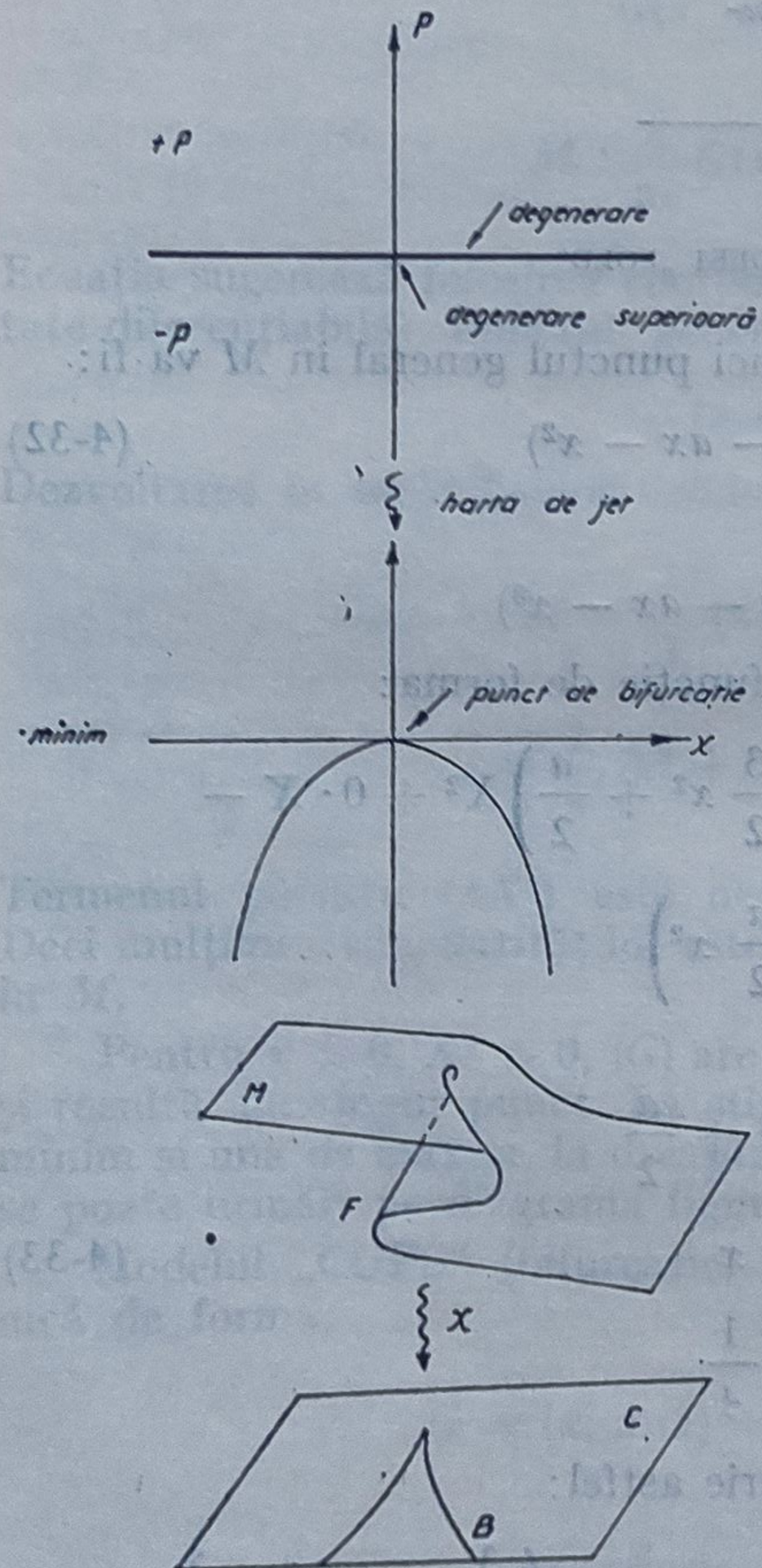


Fig. 4.5.
DIAGRAMA CATASTROFEI „CUPS"

Considerațiile analitice și rezultatele obținute se pot urmări în prezentarea sintetică din figura (4.5).

Modelul „Coada de rîndunică" operează cu o desfășurătoare universală de forma:

$$G(x, a, b, c) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{a}{3}x^3 + \frac{b}{2} + cx$$

$$M : \frac{\partial}{\partial x} G_{abc}(x) = x^4 + ax^2 + bx + c = 0$$

Harta folosită va fi: (x, a, b)

$$(x, a\, b) \to (x, a, b, c) \tag{4-37}$$
$$c = -bx - ax^2 - x^4$$

După dezvoltarea în serie Taylor se obțin o serie de rezultate a căror interpretare se poate urmări pe fig. (4.6)

Modelul „Fluture" operează cu o desfășurătoare universală de forma:

$$G(x, a, b, c, d) =$$

$$= \frac{1}{6}x^6 + \frac{a}{4}x^4 + \frac{b}{3}x^3 + \frac{c}{2}x^2 + dx; \tag{4-38}$$

Reprezentarea grafică se poate urmări pe figura (4.7).

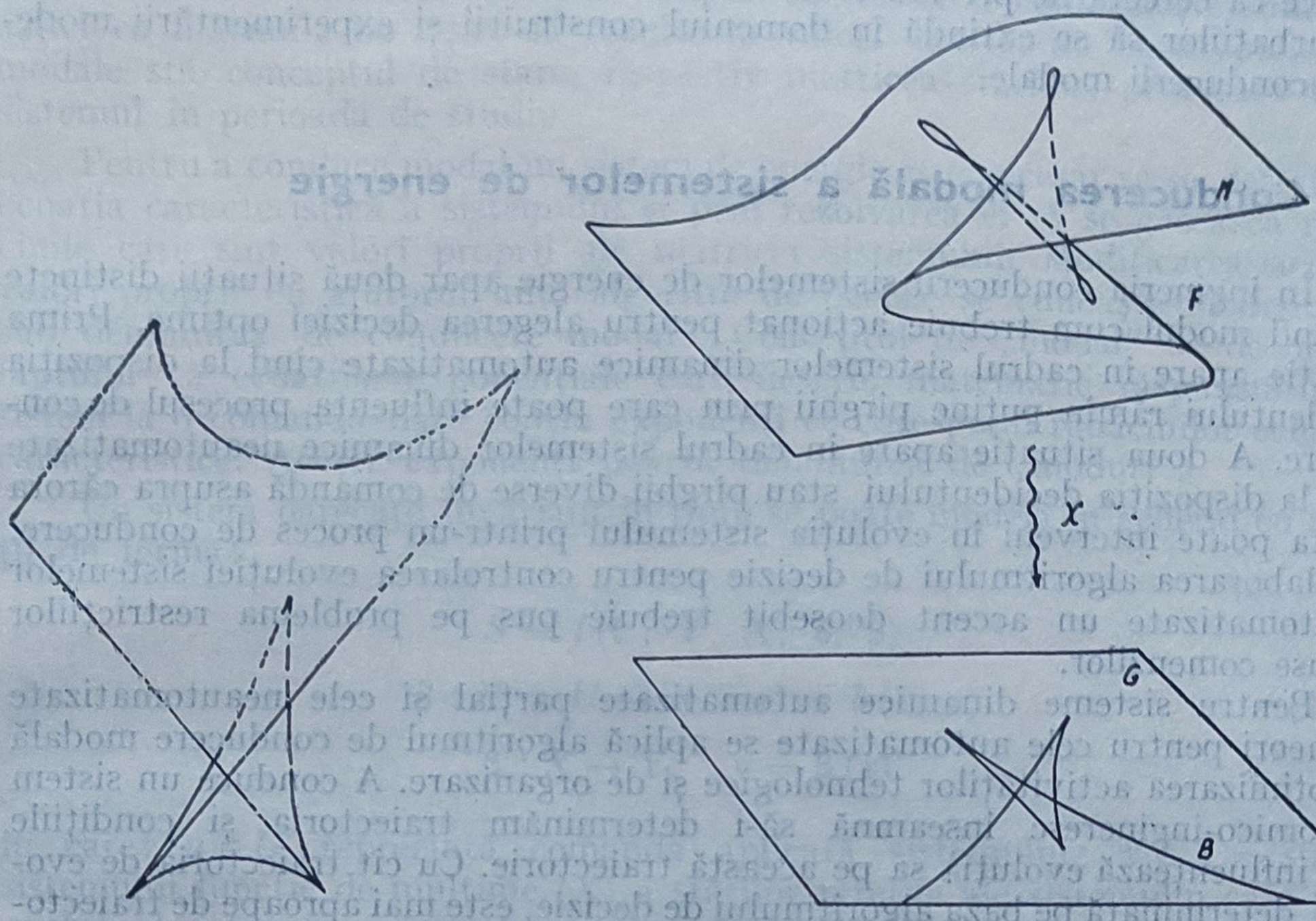


Fig. 4.6.
DIAGRAMA CATASTROFEI „COADĂ DE RÎNDUNICĂ"

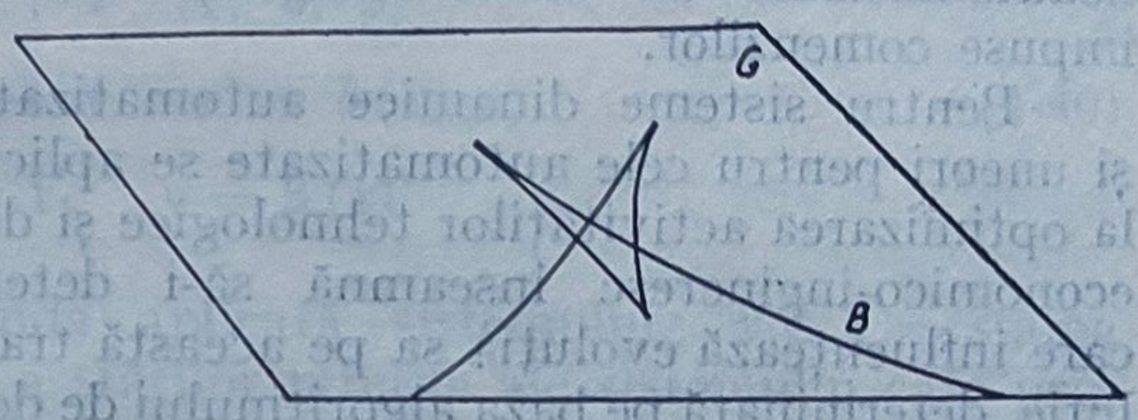


Fig. 4.7.
DIAGRAMA CATASTROFEI „FLUTURE"

Modelul „Ombilic" care operează cu desfășurători universale pentru catastrofe tip hiperbolic (*a*); eliptic (*b*) și tip parabolic (*c*) are următoarea structură matematică:

a) $G(x, y, a, b, c) = (x^3 + y^3 + axy - bx - cy)$

b) $G(x, y, a, b, c) = (x^3 - 3xy^3 + a(x^2 + y^2) - bx - cy)$ (4-39)

c) $G(x, y, a, b, c, d) = (x^3y + y^4 + ax^2 + by^2 + cx + dy)$

După studierea tipurilor de catastrofă se determină eforturile necesare de-a menține sistemul în zona de stabilitate și se cuantifică efectul așteptat. Cheltuielile pentru conceperea drumurilor de evoluție ale sistemelor de energie în ideea evitării punctelor de catastrofă se calculează cu relațiile (4—28).

Principalele probleme care se pot optimiza cu modele ale controlului optimal și cu modelele topologiei diferențiale sînt cele legate de regimurile stabile de funcționare ale sistemelor de energie, probleme de producție-stocare cu și fără admiterea restanțelor de livrare; probleme de menținere și înlocuire a utilajelor cu și fără discontinuități în proces; probleme de stabilitate structurală etc. Stabilitatea la perturbații a sistemelor de energie se poate studia calitativ cu funcționale de tip Leapunov respectiv cu ajutorul conducerii modale. În primul caz apare neajunsul major al imposibilității construirii funcționale Leapunov pentru diverse situații practice ceea

ce face ca cercetările privind evitarea pierderii stabilității sistemelor datorită perturbațiilor să se extindă în domeniul construirii și experimentării modelelor conducerii modale.

4.3. Conducerea modală a sistemelor de energie

În ingineria conducerii sistemelor de energie apar două situații distincte privind modul cum trebuie acționat pentru alegerea deciziei optime. Prima situație apare în cadrul sistemelor dinamice automatizate cînd la dispoziția decidentului rămîn puține pîrghii prin care poate influența procesul de conducere. A doua situație apare în cadrul sistemelor dinamice neautomatizate cînd la dispoziția decidentului stau pîrghii diverse de comandă asupra cărora acesta poate interveni în evoluția sistemului printr-un proces de conducere. La elaborarea algoritmului de decizie pentru controlarea evoluției sistemelor neautomatizate un accent deosebit trebuie pus pe problema restricțiilor impuse comenzilor.

Pentru sisteme dinamice automatizate parțial și cele neautomatizate și uneori pentru cele automatizate se aplică algoritmul de conducere modală la optimizarea activităților tehnologice și de organizare. A conduce un sistem economico-ingineresc înseamnă să-i determinăm traiectoria și condițiile care influențează evoluția sa pe această traiectorie. Cu cît traiectoria de evoluție, determinată pe baza algoritmului de decizie, este mai aproape de traiectoria dorită, cu atît vor fi mai mici corecțiile. Traiectoria calculată se poate apropia mult de cea dorită, dacă se cunoaște dinamica sistemului condus și perturbațiile care ar putea interveni. Prin preîntîmpinarea perturbațiilor s-ar determina o traiectorie optimă de evoluție a sistemelor studiate. Se știe că traiectoria unui sistem în evoluție depinde de caracterul cibernetic al procesului de conducere. Un dezavantaj al sistemelor cu reacție îl constituie posibilitatea de apariție a instabilității dinamice sau statice, ceea ce provoacă perturbații mai mari sau mai mici în jurul traiectoriei dorite. Aceste oscilații se pot elimina prin corecții făcute a posteori sau a priori. În primul caz corecțiile se aplică după apariția perturbațiilor, iar în cazul al doilea corecțiile se fac în timpul sau înaintea apariției perturbațiilor pe baza unui algoritm de decizie. Realizarea modelului de decizie prin care se preîntîmpină perturbațiile sau se corectează în timpul apariției lor face obiectul conducerii modale a sistemelor de energie.

Conducerea sistemelor cibernetice și respectiv a sistemelor de energie se realizează prin construirea unei comenzi, ținînd seama și de starea sistemului ceea ce reclamă o poziționare a valorilor proprii determinate de elementele de structură ale sistemului condus. Un sistem se spune că este condus cînd i se aplică la intrare o comandă cu scopul obținerii unui anumit set de variabile la ieșire. Acest lucru poate fi realizat, dacă se cunoaște structura sistemului și se construiește legătura funcțională între mărimile de ieșire dorite și mărimile de intrare necesare. Perturbațiile pot modifica mărimile de ieșire, fără ca mărimile de intrare să fie modificate. Păstrarea mărimilor de ieșire în zona valorilor dorite, în prezența perturbațiilor se poate realiza prin conducerea modală a sistemelor analizate. Pe, baza algoritmului de condu-

cere modală se măsoară ieșirile sistemului condus și se construiește comanda astfel ca mărimile de ieșire să rezulte la valori dorite. La baza conducerii modale stă conceptul de stare, respectiv matricea stărilor, prin care trece sistemul în perioada de studiu.

Pentru a conduce modal un sistem de energie este necesar să se determine ecuația caracteristică a sistemului și prin rezolvarea ei să se găsească rădăcinile care sînt valori proprii ale matricei sistemului. Modificarea acestor valori proprii cu ajutorul unui algoritm de decizie se cunoaște în inginerie sub denumirea de conducere modală. Conceptul de „modal" se datorește faptului că ecuațiile exponențiale care descriu matematic răspunsul unui sistem la o comandă dată conțin exponenți ce corespund rădăcinilor ecuației caracteristice. Acești exponenți poartă denumirea de „moduri".

Un sistem oarecare invariant în timp se poate modela în general cu relații de forma:

$$S = f(U,\ Y,\ X,\ \delta,\ \beta)$$
$$\delta : X \times U \to X \quad x' = \delta(x,\ u) \tag{4-40}$$
$$\beta : X \to Y, \quad y = \beta(x)$$

în care: $u \in U$ reprezintă comanda aplicată sistemului; $x \in X$ = starea sistemului funcție de mulțime (X) a stărilor interne ale sistemului care prin evoluția lor descriu comportarea sistemului la timpul (t); x=starea următoare a sistemului la timpul $(t+1)$; $y \in Y$ = mulțimea mărimilor măsurabile la ieșire din sistem.

Un sistem liniar se modelează cu relații de forma:

$$\delta(x,\ u) = Ax + Bu$$
$$\beta(x) = Cx \tag{4-41}$$

în care: x = vector de stare; u = vector de comandă; A = matricea stărilor $(n \times n)$ a sistemului; B = matricea de comandă $(n \times m)$ a sistemului; C = matricea $(p \times n)$ de ieșire a mărimilor din sistem.

Comportarea sistemului condus poate fi descrisă de cele mai multe ori de o ecuație diferențială liniară cu coeficienți constanți de forma:

$$Y = Cx + Du$$
$$x = Ax + Bu \tag{4-42}$$

sau:

$$-\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \vdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \vdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \vdots & \vdots & -a_{n-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot [U]$$

unde:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2; \qquad \frac{dx_{n-1}}{dt} = x_n; \qquad \frac{dx_n}{dt} = -a_0 x_1 - \ldots - a_{n-1} x_n + U$$

$$x = x_1$$

Pentru a surprinde comportarea sistemului se observă în anumite cazuri variabilele de stare iar în altele ieșirile $Y_i (i = 1, \ldots, p)$. D = matricea de legătură a comenzii de vectorii mărimilor de ieșire de ordinul p. Pentru un sistem invariabil în timp, elementele matricelor A, B, C, D sînt constante. Răspunsul sistemului poate fi reprezentat în termenul valorilor proprii și vectorilor proprii ai matricei A. Un scalar (λ) în general de formă complexă este denumit valoare proprie a matricei (A) dacă există un vector ($\theta \neq 0$) astfel încît ($A\theta = \lambda\theta$). În acest caz θ = vectorul propriu corespunzător valorii proprii (λ). Găsirea valorilor proprii și a vectorilor proprii ai matricei date (A) se face plecînd de la relații de forma:

$$A\theta = \theta \quad \text{sau} \quad (A - \lambda I)\,\theta = 0 \tag{4-43}$$

în care: I = matricea unitate.

Pentru o soluție netrivială (alta decît $\theta = 0$) trebuie satisfăcută ecuația caracteristică a matricei (A) și polinomul $P(\lambda)$ caracteristic al acestei matrici

$$det\ (A - \lambda I) = 0$$

$$P(\lambda) = det\ (A - \lambda I) = 0 \tag{4-44}$$

Valorile proprii sînt rădăcinile ecuației caracteristice ale sistemului și sînt cantități care guvernează răspunsul tranzitoriu al sistemului. O matrice $[A(n \times n)]$ are (n) valori proprii, care pot fi reale sau complexe (în general sînt complexe pentru sisteme mari), distincte sau multiple. Pentru o matrice cu elemente reale ca în cazul unei ecuații diferențiale liniare cu coeficienți constanți valorile proprii complexe apar numai în perechi conjugate. Dacă cele (n) valori proprii sînt distincte există (n) vectori proprii distincți.

Pentru a găsi răspunsul sistemului cu intrare zero se pleacă de la ecuația ce descrie comportarea sistemului de forma:

$$x = Ax \quad \text{și} \quad x(0) = c\theta$$

pentru momentul

$$t = 0 \tag{4-45}$$

$$x(t = 0) = c\lambda\theta = \lambda x\,(0)$$

Soluția ecuației ($x = Ax$) pentru starea inițială $[x(0) = c\theta]$ are forma:

$$x(t) = x(0) \cdot e^{\lambda t}; \quad x(t) = \lambda x(0)\ e^{\lambda t} \tag{4-46}$$

Înlocuind valorile obținute în ecuația de comportare a sistemului rezultă:

$$\lambda x(0)\ e^{\lambda t} = A \cdot x(0) \cdot e^{\lambda t} \tag{4-47}$$

Ecuația se verifică dacă ținem seama de faptul că $[x(0) = c\theta]$ Rezultatul obținut arată că dacă starea inițială a sistemului este reprezentată de un punct în spațiul stărilor, oriunde pe direcția unui vector propriu și dacă intrarea este zero, atunci punctul respectiv se deplasează către origine în linie dreaptă de-a lungul axei acelui vector. Dacă starea inițială nu este pe direcția valorilor proprii asociate, ea poate fi reprezentată de o combinație liniară a vectorilor proprii dacă aceștia sînt distincți. În acest ultim caz cînd valorile proprii ale matricei (A) sînt distincte atunci starea inițială $[x(0)]$ și răspunsul sistemului cu intrare zero $[x(t)]$ se determină cu relații de forma:

$$x(0) = C_1\theta^1 + C_2\theta^2 + \ldots\ldots + C_n\theta^n$$
$$x(t) = C_2\theta^1 \cdot e^{\lambda 1 t} + \ldots\ldots\ldots + C_n\theta^n e^{\lambda n t} \qquad (4\text{-}48)$$

în care: (θ_i) reprezintă vectorii proprii ai matricei (A). Coeficienții vectorilor proprii se numesc coordonate normale. Dacă comenzile la nivelul sistemului nu sînt nule atunci se completează relațiile anterioare cu noile comenzi. În acest caz matricea modală apare sub forma ei nesingulară, cînd valorile proprii (λ_i) sînt toate distincte. Dacă valorile proprii ale ecuației caracteristice nu sînt distincte atunci pentru rezolvarea problemei se utilizează forma canonică Jordan a matricei (A).

Un sistem neliniar la care derivata fiecărei variabile de stare în orice moment nu depinde liniar de variabila de stare și de variabila de intrare poate fi descris sub aspectul comportamentului de următoarele ecuații:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, \ldots, x_n;\ U_1, \ldots U_r;\ t);\ i = (1, \ldots, n) \qquad (4\text{-}49)$$

sau

$$x = f(x, u, t)$$

Dacă mărimile de comandă și de ieșire au o variație discontinuă atunci comportarea sistemelor nu poate fi modelată cu ajutorul ecuațiilor diferențiale ci se face apel la ecuații cu diferențe finite.

Pentru un sistem liniar discret cu o singură intrare și o singură ieșire ecuația cu diferențe finite se poate scrie, sub forma matriceală, astfel:

$$x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot U(k) + D(k); \qquad (4\text{-}50)$$

în care: k = perioada de comportare a sistemului; A = matricea coeficienților mărimilor de stare $[x(k)]$; B = matricea coeficienților mărimilor de comandă $[u(k)]$; $D(k)$ = matricea mărimilor care condiționează intrările astfel ca ieșirile să corespundă calității produselor realizate. Pentru un sistem real de producție ecuația de comportare are următoarea structură generală:

$$x_1(k+1) = x_1(k) + x_2(k) \pm d(k) \qquad (4\text{-}51)$$

în care: $x_1(k+1)$ = variația stocului real față de cel dorit în perioada $(k+1)$; $x_1(k)$ = variația stocurilor reale față de cele dorite în perioada (k); $x_2(k)$ = variația nivelului real al producției în perioada (k); $d(k)$ = produsele realizate în perioada (k). Dacă acestea se folosesc în întreprindere, atunci se acceptă

în relație semnul plus, dacă se livrează în exterior atunci se acceptă în relație semnul minus. Pentru conducerea operativă a producției se poate exprima comportarea sistemului cu o ecuație cu diferențe finite de forma:

$$x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot u(k) + C(\sigma) \tag{4-52}$$

în care: σ = ritmul planificat al desfacerii; $x(k+1)$; $x(k)$ = reprezintă variabilele de stare prin care este condusă producția la o comandă $u(k)$ dată; C = vectorul mărimilor de ieșire al cărui nivel este condiționat de ritmul desfacerii.

Comportarea unui sistem liniar multivariabil discret cînd se neglijează perturbațiile și se consideră o mulțime finită a mărimilor de comandă și de ieșire se poate descrie cu următoarele relații matematice:

$$\begin{gathered} x = Ax + Bu\,; \quad u = -kx \\ x = (A - Bk)\, x \end{gathered} \tag{4-53}$$

Matricea (k) trebuie astfel determinată încît sistemul să fie controlabil. Aceste tipuri de sistem la care nu se aplică din exterior mărimi de intrare sau perturbații, iar reacția se realizează prin intermediul variabilelor de stare se numesc sisteme cu reacție după stare. Performanțele sistemelor descrise de ecuațiile (4—49—53) sînt determinate de valorile proprii ale matricelor sistemelor analizate. Pentru sistemele închise liniare multivariabile fără comenzi exterioare sau perturbații, performanțele sînt determinate de valorile proprii ale matricei $(A - Bk)$. Dacă $x = x(0)$, $e^{\lambda t}$ atunci din relația (4—53) rezultă:

a) *Ecuația caracteristică* b) *Polinomul caracteristic*

$$(\lambda I - A + Bk)\; x(0) = 0\,; \qquad det\; (\lambda I - A + Bk) = 0 \tag{4-53 a}$$

în care I = matricea unitate.

Dacă sistemul este controlabil atunci coeficienții din relațiile (4—52) pot fi aleși ca să coincidă cu valorile dorite. În această idee se consideră comportamentul unui sistem descris de ecuația diferențială.

$$\ddot{y} + \omega_0^2 y = u \tag{4-54}$$

Pentru a scrie ecuația de stare facem schimbările de variabilă $y = x_1$ și $y = x_2$ și se obține relația:

$$\dot{x}_1 = x_2 \qquad \dot{x}_2 = -\omega_0^2 x_1 + u \tag{4-55}$$

Reacția după stare se poate scrie astfel:

$$u = -k_1 x_1 - k_2 x_2$$

Dacă soluțiile sistemului analizat sînt: $x_1 = x_{10} \cdot e^{\lambda t}$; $x_2 = x_{20} e^{\lambda t}$ atunci ecuația caracteristică de ordinul al doilea pentru sistemul condus are forma:

$$\lambda^2 + k_2 \lambda + \omega_0^2 + k_1 = 0 \tag{4-56}$$

Această ecuație se obține din condiția ca determinantul matricei coeficienților să fie nul.

Dacă se urmărește ca sistemul să aibă valorile proprii $(-a_1)$ și $(-a_2)$, atunci ecuația caracteristică dorită se poate scrie sub forma:

$$(\lambda + a_1)(\lambda + a_2) = \lambda^2 + (a_1 + a_2)\lambda + a_1 a_2 = 0 \qquad (4\text{-}57)$$

Comparînd coeficienții k_1 și k_2 cu a_1 și a_2 rezultă că dacă a_1 și a_2 au formă complexă conjugată atunci k_1 și k_2 sînt numere reale.

Pe baza suitei de decizii se construiește strategia de conducere modală a sistemelor complexe în general și a sistemelor de energie în particular. Deciziile se pot construi pe baza cunoașterii comportamentului sistemelor analizate.

Comportamentul unui sistem perturbat de la ritmul planificat (σ) la ritmul $[\sigma + s(k)]$ se determină pe baza următoarei ecuații de stare:

$$\bar{x}(k+1) = A\bar{x}(k) + B\bar{u}(k) + C\bar{s}(k) \qquad (4\text{-}58)$$

Mărimile barate reprezintă perturbațiile mărimilor inițiale. Perturbațiile pot modifica nivelul resurselor alocate, respectiv pot genera stocuri de resurse sau pot duce la penurii de resurse. Aceste deficiențe se pot evita introducînd la nivelul sistemului reglarea prin reacție de stare cu ajutorul unor noi variabile care înlesnesc reglările locale ale nivelului de stoc.

În sisteme de producție complet controlabile, valorile proprii care determină viteza de răspuns a sistemului pot lua orice valoare pe baza strategiei de conducere $u(k)$. Scopul proiectării unui sistem constă în găsirea mulțimii elementelor de intrare și de comandă $u(k)$, astfel încît perturbațiile ce apar să aibă un efect practic egal cu zero, asupra comportamentului dorit a sistemului. Teoria comenzii modale a sistemelor complexe se poate utiliza la organizarea și conducerea sistemelor de energie, respectiv la stabilirea strategiei pentru păstrarea stabilității statice și dinamice atît la nivelul grupurilor energetice, cît și la nivelul centralelor și rețelelor electrice din structura sistemelor de energie.

4.4. Modele cibernetice ale sistemelor de energie

Dintre clasele de modele cibernetice care pot îmbrăca cît mai fidel structura și fluxul sistemului de energie reținatenția următoarele : modelele operatoriale de producție; modelele transformatoarelor $(L; Z)$ și modelele agregat cu două bucle de reacție. Modelele operatoriale de producție permit simularea cantitativă a transformărilor din sistem. Modelele transformatelor (L, Z) exprimă transformările calitative din cadrul sistemului analizat. Modelele agregat cu două bucle de reacție reflectă legăturile sistemice dintre transformările cantitativ-calitative și conduc la determinarea fluxului informațional-decizional necesar construirii strategiei de comandă a sistemelor de energie.

Funcțiile de eficiență ale modelelor cibernetice care pot surprinde transformările cantitative din cadrul sistemului de energie au următoarele structuri matematice:

$$Z_{lac}^{cb} = \{b_{tac}[C(e, r, x, y, p, c, st, g) + I(e, r, x, y. p, c, st, g) - V(e, r, x, y, p, c, st, g)] - R_{tac}\} \qquad (4\text{-}59)$$

$$Z_{lc}^{cb} = [C(e, r, x, y, p, c, st, g) + p_n I(e, r, x, y, p, c, st, g)]$$

Funcțiile de eficiență ale modelelor cibernetice care pot surprinde transformările calitative din structura sistemului de energie se pot scrie sub formele:

$$F_L = \frac{0{,}860\, P_i(s) + Q_i(s)}{B_i(s)} = \frac{Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_3 \cdot Y_4}{(1 - Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_{12})\,(1 - Y_3 \cdot Y_4 \cdot Y_{34})} = \frac{T_L(Y)}{T_L(X)}; \tag{4-60}$$

$$F_z^s = \frac{S_i(Z)}{B_i(Z)} = \frac{1}{1 - Z - a(Z + Z^2)}; \qquad F_z^c = \frac{C_i(Z)}{B_i(Z)} = \frac{(Z + Z^2)\, a}{1 - Z - a(Z + Z^2)};$$

$$F_z = \frac{T_z(Y)}{T_z(X)};$$

$$F_e(t_i) = \frac{[M_{op}(t_i)] - [M_{op}(t_{i-1})]}{(t_i - t_{i-1})};$$

$$B_i = \left[B_{i-1} + \frac{0{,}860 \cdot c_i (i_{ab} - i_{ap})}{r_d \cdot p_{ci} \cdot s_k \cdot \sum_i \frac{1}{s_i}}\, f(P) \right],$$

în care: Z_{tac}^{cb}; Z_{ic}^{cb} = cheltuielile totale actualizate și cheltuielile de calcul. C; I = cheltuieli de producție și respectiv investițiile implicate la aplicarea ciberneticii pentru optimizarea sistemelor de energie; V; R = veniturile (V) și valorile reziduale ale instalațiilor în momentul dezafectării lor de la sistem.

Cheltuielile sînt generate de două clase de operatori cum ar fi: operatorii de reglaj (r) și operatorii efectorii(e). Operatorii de reglaj urmăresc conducerea sistemului atît pe baza calculatoarelor off line cît și cu ajutorul calculatoarelor on line cuantificînd conținutul dialogului om-calculator. Operatorii efectorii (e) cuantifică influența producției (p); circulației (c); științei și tehnologiei (st) și a condițiilor generale de lucru (g) ale sistemului la interfața lui cu mediu. Acțiunea acestor operatori se regăsește în special atît în contextul mărimilor de intrare-ieșire (x, y) cît și în cadrul matricei operatoriale (M_{op}). Operatorii efectorii de producție și circulație sînt condiționați de nivelul tehnic al instalațiilor imprimat de operatorii activității științifice. Acești operatori trebuie să influențeze direct modernizarea producției și să asigure calitatea întregii activități energetice. Stăpînirea producției de energie și realizarea unui echilibru eficient dintre producție-consum se pot realiza în cibernetică prin algebre de operatori. Pe baza acestor algebre se pot crea condiții de ergodicitate ale sistemelor energotehnologice astfel ca prin analiză cantitativă să se minimizeze cheltuielile totale actualizate în condițiile restrictive impuse sistemului de mediu.

Pe baza funcțiilor de transfer tip Laplace (F_L) și tip (F_z) prima aplicabilă la structuri continue iar a doua la structuri discrete se pot cuantifica transformările calitative care apar în sistemul analizat. Astfel se pot surprinde modificările de calitate intervenite asupra puterilor (P_i); asupra debitelor

de aburi (Q_i); asupra combustibilului (B_i); asupra funcțiilor de transfer ($Y_1 \dots Y_4$) și (Y_{12}, Y_{34}) date de funcția de putere $f(P)$; de diferența entalpiilor abur-apă (i_{ab}—i_{ap}); de puterea calorifică inferioară a combustibilului ($\not p_{ci}$); de statismul grupurilor (s_i) și a sistemului (s_k); de coeficientul de încărcare a grupurilor (r_d) și de corelația dintre mărimi (c_i). Schemele cibernetice ale sistemului de energie și funcțiile de transfer la nivelul fiecărei instalații din cadrul centralei de producere a energiei cît și schema aplicării metodei inspecției pentru transformata (Z) se dau în figurile (4.8) și (4.9).

Aplicarea modelelor cibernetice cantitative și calitative la optimizarea activității permite determinarea pe de o parte a efortului necesar prin stabilirea cheltuielilor (Z^{cb}_{tac}; Z^{cb}_{ic}) iar pe de altă parte se pot aprecia creșterile respectiv descreșterile de randament ale instalațiilor energetice și ale activității generale a sistemului stabilindu-se gradul de eficiență a transformărilor cu ajutorul funcției $F_e(t_i)$ la timpul (t_i) față de momentul (t_{i-1}).

În schemele (4—8—9) apar două tipuri de reacție și anume: reacții directe dintre resurse și producție respectiv producție-consum și reacții inverse (feedback) negative și pozitive. În buclele de feedback pozitive modificările unei variabile conduc la o nouă modificare în același sens a variabilei care a suferit variația inițială. În buclele de feedback negativ (homeostatice) variația într-un sens a unei variabile conduce prin intercondiționări la o variație finală de sens invers a variabilei considerate.

Modelele agregat cu două bucle de reacție operează cu funcții de eficiență de forma:

$$Z_{tac_1} = [Z_{cp} + Z_{cm} + Z_{ed}]^{stop}_{tac} = [Z_{st} + Z_{op}]^{PME}_{tac} \tag{4-61}$$

$$Z_{tac_2} = [Z_{pz} + Z_{civ}]^{stop}_{tac} = [Z_{sa} + Z_{ev} + Z_{ip} + Z_{cr} + Z_{td} + Z_{civ}]^{PME}_{tac}$$

$$Z_{tac_3} = [Z_{rs} + Z_{ce} + Z_{le} + Z_{co} + Z_{sm}]^{PME}_{tac}$$

$$Z_{tac_3} = [Z_{cd} + Z_{ap} + Z_{pd} + Z_{pe} + Z_{fc}]^{PME}_{tac}$$

Prima buclă de reacție operează la nivel strategico-tactiv (st) iar a doua la nivel operativ și de urmărire-control ($o\not p$). Schema logică a activităților de conducere cu două bucle de reacție se poate urmări pe figura (4.10).

Acest mod de abordare a problemelor energotehnologice are la bază concepția sistemică conform căreia cheltuielile propriu-zise (Z_{pr}) și cele de conexiune inversă (Z_{cv}) sînt influențate atît la nivel strategico-tactic cît și la nivel operativ de urmărire control.

În relațiile anterioare intervin următoarele mărimi: $Z_{tac(1 \dots 4)}$ = funcțiile de eficiență pentru modelele agregat pe fazele verticale ale sistemului: proiectare (Z_{cp}); montaj (Z_{cm}) exploatare (Z_{ed}); divizate pe bucla de reacție strategico-tactică (Z_{st}) și operativă de urmărire-control (Z_{op}) precum și pe fazele orizontale ale sistemului: resurse (Z_{rs}); centrala electrică (Z_{ce}); lanțuri energetice (Z_{le}); consumator (Z_{co}) și influența sistem-mediu (Z_{sm}). Cheltuielile propriu-zise cuprind cheltuielile cu stocarea-așteptarea (Z_{sa}); cu echipamentele-ordonanțarea (Z_{eo}); cu ingineria umană și prognoza (Z_{ip}); cu căutarea și riscul (Z_{cr}) și cu teoria costurilor-decizie (Z_{td}). La nivelul întreprinderii cheltuielile sînt repartizate pe funcții: funcția de cercetare-dezvoltare (Z_{cd});

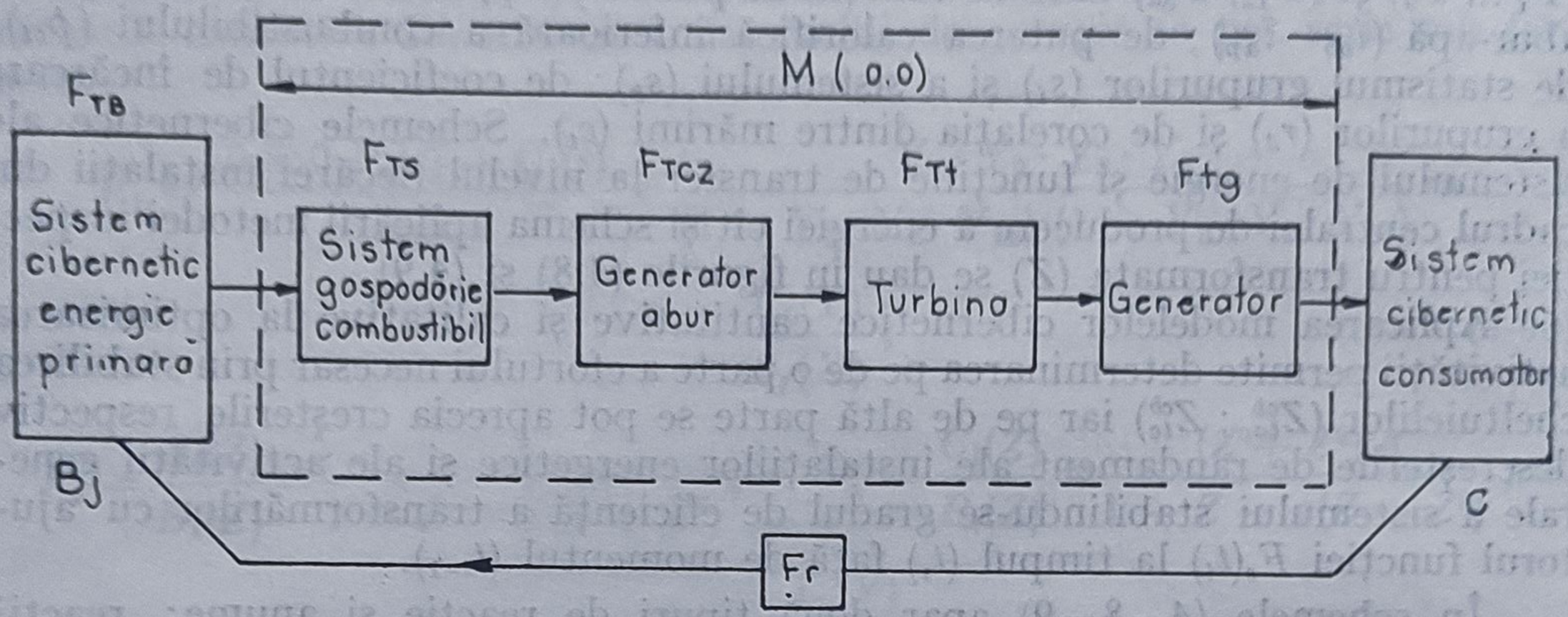


Fig. 4.8.

SCHEMA DE REPREZENTARE CIBERNETICĂ A UNEI CENTRALE ELECTRICE

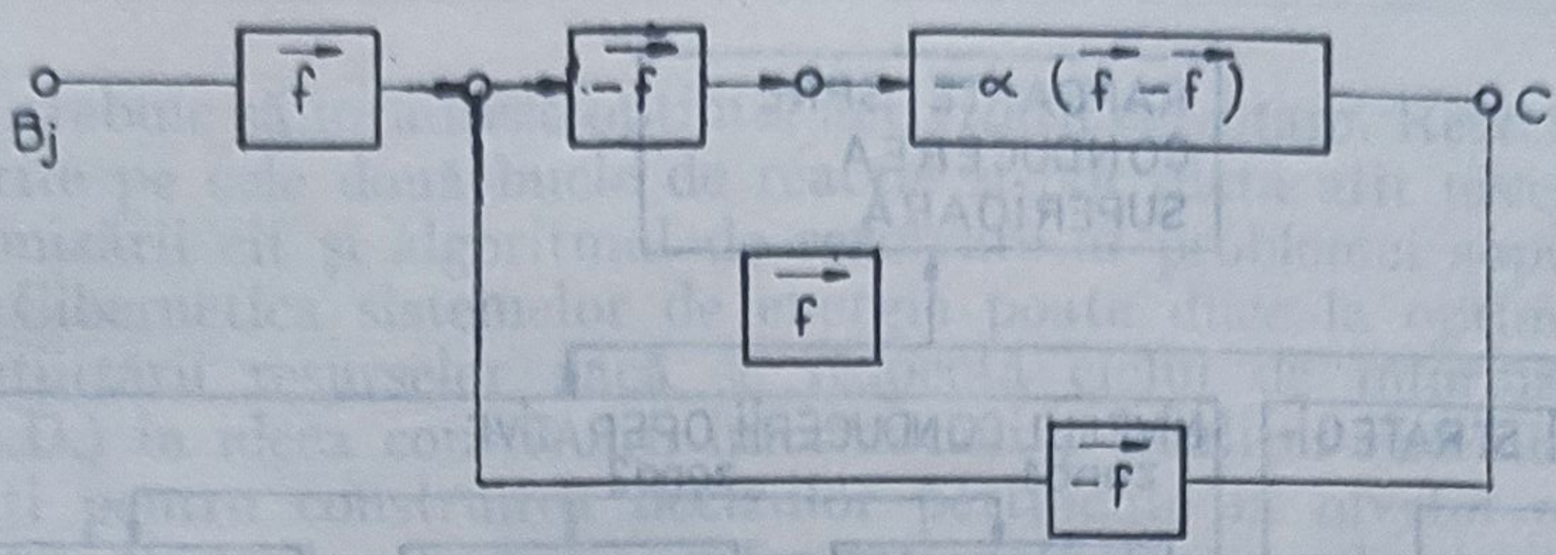


Fig. 4.9.

SCHEMA OPERAȚIONALĂ PENTRU APLICAREA TRANSFORMATELOR Z LA SIMPLIFICAREA STRUCTURILOR ENERGETICE

funcția de aprovizionare-desfacere (Z_{av}); funcția de producție (Z_{pd}); funcția de personal (Z_{pe}) și funcția financiar-contabilă (Z_{fc}).

Pentru transformarea funcțiilor de eficiență de tip cost-actualizat în modele matematice se iau în considerație restricțiile tehnologico-funcționale

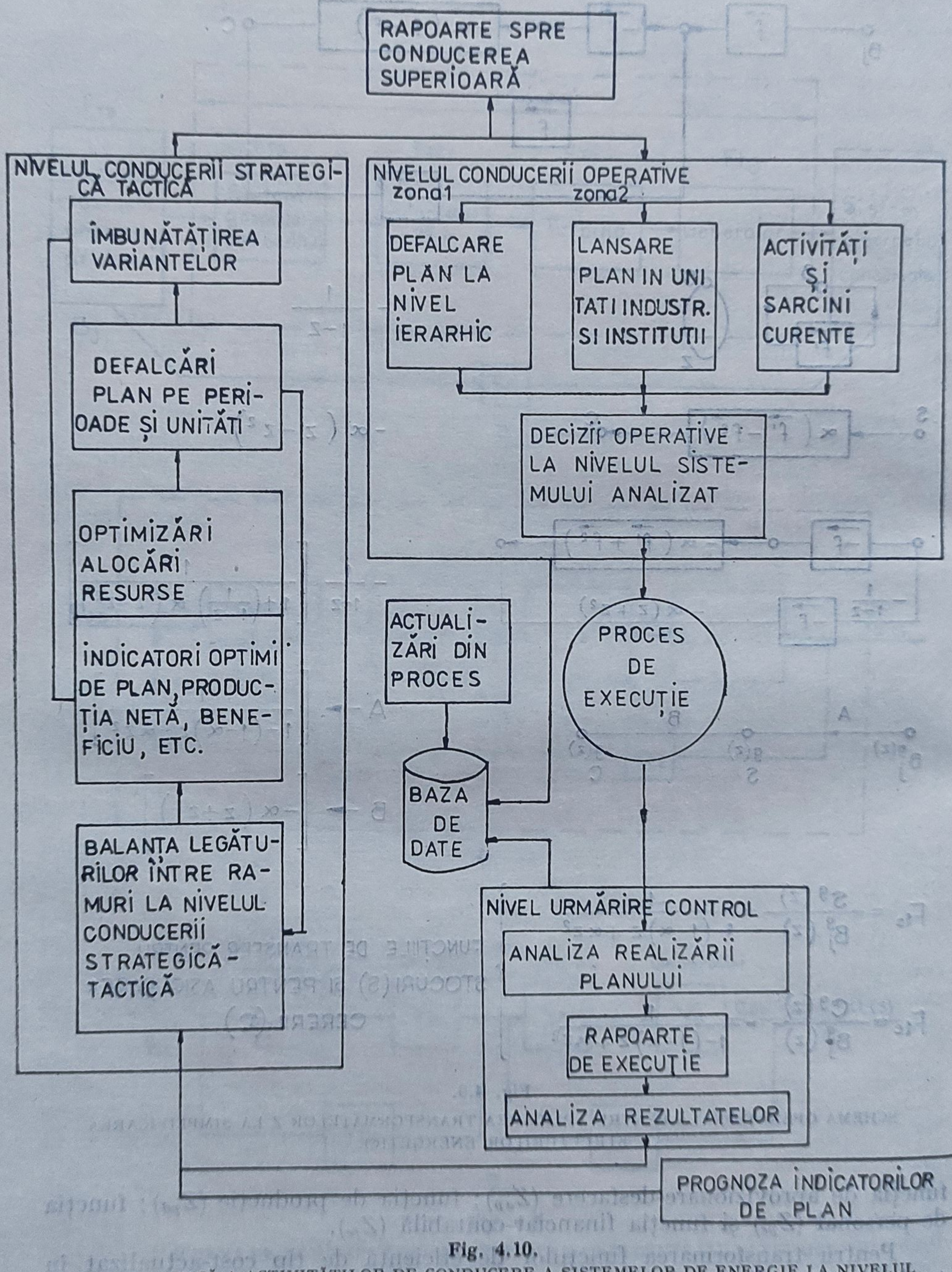


Fig. 4.10.

SCHEMA LOGICĂ A ACTIVITĂȚILOR DE CONDUCERE A SISTEMELOR DE ENERGIE LA NIVELUL STRATEGICO-TACTIC ȘI NIVELUL URMĂRIRE-CONTROL

care trebuie să încadreze optimul activității cercetare. Restricțiile au structuri diferite pe cele două bucle de reacție și pot dicta atît nivelul de adîncire al optimizării cît și algoritmul de rezolvare al problemei supuse cibernetizării.

Cibernetica sistemelor de energie poate duce la optimizarea producerii și utilizării resurselor dacă se respectă ciclul de informare-analiză-decizie (I.A.D.) în ideea constituirii informaticii și analizei sistemice a întregii activități pentru construirea deciziilor pertinente la nivelul ambelor bucle de reacție. Modelele cibernetico-informaționale-decizionale ale sistemelor de energie operează cu funcții de eficiență de forma:

$$Z^{id}_{tac_1} = [Z_i + Z_a + Z_d]^{stp}_{tac} = [Z^{st}_{iad} + Z^{op}_{iad}]^{tac}_{cop};$$

$$Z^{id}_{tac_2} = [Z_{pr} + Z_{im} + Z_{ex}]^{id}_{tac} = [Z_{t+l} + Z_{mpt} + Z_{fc}]^{id}_{cop} \qquad (4\text{-}62)$$

$$Z^{i}_{tac_3} = [Z_{cp} + Z_{sd} + Z_{cd}]^{i}_{tac}; \qquad Z^{d}_{tac_4} = [Z_{sf} + Z_{hr} + Z_{dc}]^{d}_{tac}$$

$$Z^{i}_{tac_5} = [Z^{str}_{tac} + Z^{fx}_{tac}]^{i}_{cop}; \quad Z^{a}_{tac} = [Z^{str}_{tac} + Z^{fx}_{tac}]^{a}_{cop}; \quad Z^{d}_{tac} = [Z^{str}_{tac} + Z^{fx}_{tac}]^{d}_{cop};$$

Informatica-decizională interpretată în teoria catastrofelor trebuie să contribuie esențial la inovarea calitativă a echipamentului energetic și a forței de muncă cu scopul preîntîmpinării punctelor de catastrofă (cădere) a sistemului de energie. În relațiile (4—62) intervin următoarele mărimi: Z^{id}_{tac}= cheltuielile totale actualizate pentru informare-decizie care cuprind cheltuielile de informare (Z^{i}_{tac}); de analiză (Z^{a}_{tac}) și de decizie (Z^{d}_{tac}) extinse pe cele două bucle de reacție (stop) în structura cercetării operaționale (cop); Z^{cp}_{tac}; Z^{sd}_{tac}; Z^{cd}_{tac}=cheltuielile de colectare-prelucrare a datelor (cp), cele pentru stocare-distribuire (sd) și cele de construire a deciziilor (cd); Z^{id}_{tac}= cheltuielile de decizie pentru evaluarea structurilor soft (sf) și hard (hr) inclusiv cele legate de formarea decidenților (Z_{dc}). Aceste cheltuieli se mai extind asupra altor activități cum ar fi: proiectarea bazelor de date (Z_{cp}); implementarea fluxului informatic. decizional (Z_{im}); executarea rețelelor și exploatarea acestora pe teren (Z_{ex}); respectiv realizarea proiectului tehnic și logic (Z_{t+l}) efectuarea probelor tehnologice (mpt) și cheltuielile legate de funcționarea noului sistem informatic-decizional (fc). Cheltuielile ciclului informare-analiză-decizie se fac atît pentru optimizarea structurii cît și pentru optimizarea fluxului ($Z^{str}_{tac} + Z^{fx}_{tac}$).

Principiile și legile cibernetice se aplică atît la nivelul conducerii strategico-tactice cît și la nivelul operativ de urmărire-control ținînd cont de particularitățile sistemelor de energie cum ar fi: necesitatea coordonării sistemice a activităților de proiectare-montaj-exploatare; cvasisimultaneitatea producției și consumului de energie; legătura dintre producția de energie și consum se face numai pe o structură continuă la care producția se continuă cu transportul și utilizarea energiei (în cadrul sistemelor de energie coexistă simultan structuri continue cu cele discrete dînd naștere la structuri hibride). Pentru surprinderea acestor particularități este necesar să se treacă la construirea și dezvoltarea energocibernetici care preia din arsenalul ciberneticii industriale principiile și legile generale. Principiile generale ale ciberneticii se pot enunța astfel: principiul consonanței desenează organizarea sistemelor în ideea realizării stării optime de echilibru atît între subsistemele componente cît și între sistem luat ca întreg și mediu. Pentru ca sistemul să se autoorganizeze într-un

model fidel mediului extern lui este nevoie de un schimb controlat energo-informațional interacțional sistem-mediu. Principiul disonanței desenează dezorganizarea sistemelor prin perturbații în sens destructiv prin efecte entropice și sens constructiv prin efecte antientropice. Principiul analizei binare desenează stările de activitate și inactivitate a sistemelor prin obținerea răspunsurilor sau absența lor la semnale externe. Legile generale ale ciberneticii au următoarele denumiri: legea echilibrului dinamic; legea echivalenței; legea compensației; legea reacției directe și inverse; legea ciclicității; legea transformării stărilor sistemelor sub influența acțiunilor externe energo-informaționale și legea finalității. Pentru a înțelege cum se aplică aceste principii și legi ale ciberneticii la conducerea sistemelor de energie este necesar să definim conceptul de cibernetică și să arătăm ce conține el ca idei directoare și novatoare. După Platon și Ampère cibernetica are înțeles de conducere a sistemelor fiind arta de-a guverna și de-a alege în fiecare caz ce poate fi făcut și ce trebuie făcut. După A. Mihram care reia pe Platon și Ampère, cibernetica permite cîntărirea prin gîndire a problemelor și alegerea lor judicioasă, creează condiții ca să fim perfect conștienți de ceea ce se poate întîmpla și creează premizele pentru a putea ști ce este de făcut. Cibernetica operează cu teoria r eglajului fiind o știință interdisciplinară la care miezul îl deține procesul ciclic și retroacțiunea. Ea face apel la teoria corelațiilor și a compensărilor, la teoria inteligenței naturale și artificiale, la analogie și modelare, la concepție sistemică bazată pe teoria unificărilor și a sintezelor integratoare în care conceptele psihologiei, tehnologiei, matematicii, neurofiziologiei, conducerii și deciziei ocupă un loc operațional energo-informațional de prim ordin. Comparînd conținutul de idei, definițiile principiilor și legilor generale ale ciberneticii în concepția Odobleja și în concepția Wiener rezultă prioritatea absolută a savantului român în precizarea ideilor, principiilor și legilor generale ale ciberneticii deoarece acestea au văzut lumina tiparului cu zece ani înaintea apariției în 1948 a ciberneticii lui Wiener. Principiile și legile generale ale ciberneticii constituie totodată baza energociberneticii sistemelor de energie și se aplică în energetică prin atributele conducerii (prevederea, organizarea, coordonarea, comunicarea (comanda) și controlul), parcurgîndu-se ciclul informare-analiză-decizie (I.A.D.).

Cibernetica atributelor de conducere reclamă respectarea ciclului I.A.D. cu ajutorul modelelor de previziune, de organizare, de comunicare și de control și creează condiții de optimizare a activității sistemelor cercetate. Cibernetica prevederii face apel la modele de prognoză pentru alocarea resurselor cu scopul determinării pe de o parte a necesarului și a fixării pe de altă parte a disponibilului de resurse. Echilibrul dintre necesar și disponibil se realizează pe baza legii reacției directe și inverse. Cibernetica organizării urmărește ordonarea și formarea legăturilor dintre subsisteme, modificarea concentrației și a orientării structurilor, diferențierea și coordonarea funcțiilor elementelor din structurile analizate cu scopul organizării în timp și spațiu a tuturor activităților în prezența perturbațiilor. În acest scop se recomandă [6] aplicarea teoriei stărilor entropice pentru determinarea gradului de organizare a sistemelor complexe. Cibernetica coordonării vizează dimensionarea și reunirea rațională a structurilor cu scopul compensării perturbațiilor pe baza conceptiei sistemice de abordare a fenomenelor energotehnologice. Cibernetica

comunicării (comenzii), se referă la motivarea acțiunilor declanșate prin decizii pentru a preîntîmpina reacțiile negative și pentru transpunerea în practică fără erori a soluției preconizate de conducere. Cibernetica controlului operează cu teoria căutării informației pertinente pentru a urmări veridicitatea dintre decizie și acțiune. Cibernetica atributelor de conducere constituie sîmburele conceptual al energocibernetici și creează premizele trecerii la conducerea sistemelor de energie cu ajutorul calculatoarelor de proces.

Acțiunea de cibernetizare a activităților energetice și neenergetice din cadrul ramurii energiei electrice și termice a trecut spre faza de maturizare. Astfel, s-au definit conținuturile subsistemelor și ale activităților din cadrul întregului sistem de energie conform structurii schemei logice din figura (4.11).

În această ordine de preocupări s-a elaborat structura sistemului informatic de conducere a ramurii (SIREET) în general și a sistemului informatic (GETIC) pentru conducerea sistemului energetic național în special. Totodată s-a elaborat structura informatico-decizională a ramurii, a sistemului energetic și a întreprinderilor de producere, transport și a celor consumatoare de energie trecîndu-se la faza implementării calculatoarelor de proces. Introducerea calculatoarelor de proces la nivelul sistemelor de energie este justificată și de necesitatea culegerii și prelucrării unui volum mare de informații din proces (numai pentru un bloc de 330 MW se preiau din proces circa 1400 mărimi) și de transmitere a deciziei în timp real pentru înlăturarea perturbațiilor. Conducerea integrată a sistemelor de energie reclamă implementarea calculatoarelor de proces la nivelul următoarelor tipuri de instalații: calculatoare de proces la nivelul stațiilor și liniilor electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune; calculatoare de proces la nivelul centralelor electrice; calculatoare de proces la nivelul dispecerilor teritoriali; calculatoare de proces la nivelul dispecerului central (național). Această rețea de calculatoare permite ca prin interconexiune, dispecerii să realizeze o conducere optimală, ierarhizată și integrată a întregului sistem telecomandat. Conducerea operativă cu calculator a marilor consumatori industriali permite urmărirea încadrării consumului specific realizat în normele de consum specific planificat. Calculatoarele de proces implementate la nivelul consumatorilor industriali permit încadrarea întreprinderii în vîrful de putere și energie planificate și înlesnesc elaborarea automată a bilanțurilor energetice. Cibernetizarea energeticii industriale în țara noastră a început prin implementarea la nivelul marilor consumatori de energie (IMGB Tractorul-Brașov) a microprocesoarelor ECAROM — 800 și va continua cu lărgirea tipurilor de calculatoare în vederea construirii unei rețele de microprocesoare, care să permită reducerea pînă în 1990 a consumurilor specifice de energie cu 40% la 1000 lei producție industrială față de 1980. Cibernetizarea activității din centrale, stații și linii electrice s-a impus în vederea îndeplinirii următoarelor deziderate; creșterea complexității instalațiilor prin punerea în funcțiune a noi tipuri de agregate-bloc (cazan-turbină-generator — transformator-linie) cu puteri unitare mari (330 ... 1500) MW și cazane de (1000—3000) t/h; îmbunătățirea structurilor și a fluxurilor de energie, astfel ca exploatarea sistemului să se realizeze în condiții de înaltă fiabilitate și economicitate; intensificarea cuplărilor și decuplărilor de grupuri și instalații în sistem pentru preluarea fără riscuri a avariilor și pentru sporirea vitezei de pornire și încărcare a blocurilor energetice la creșterea sarcinii;

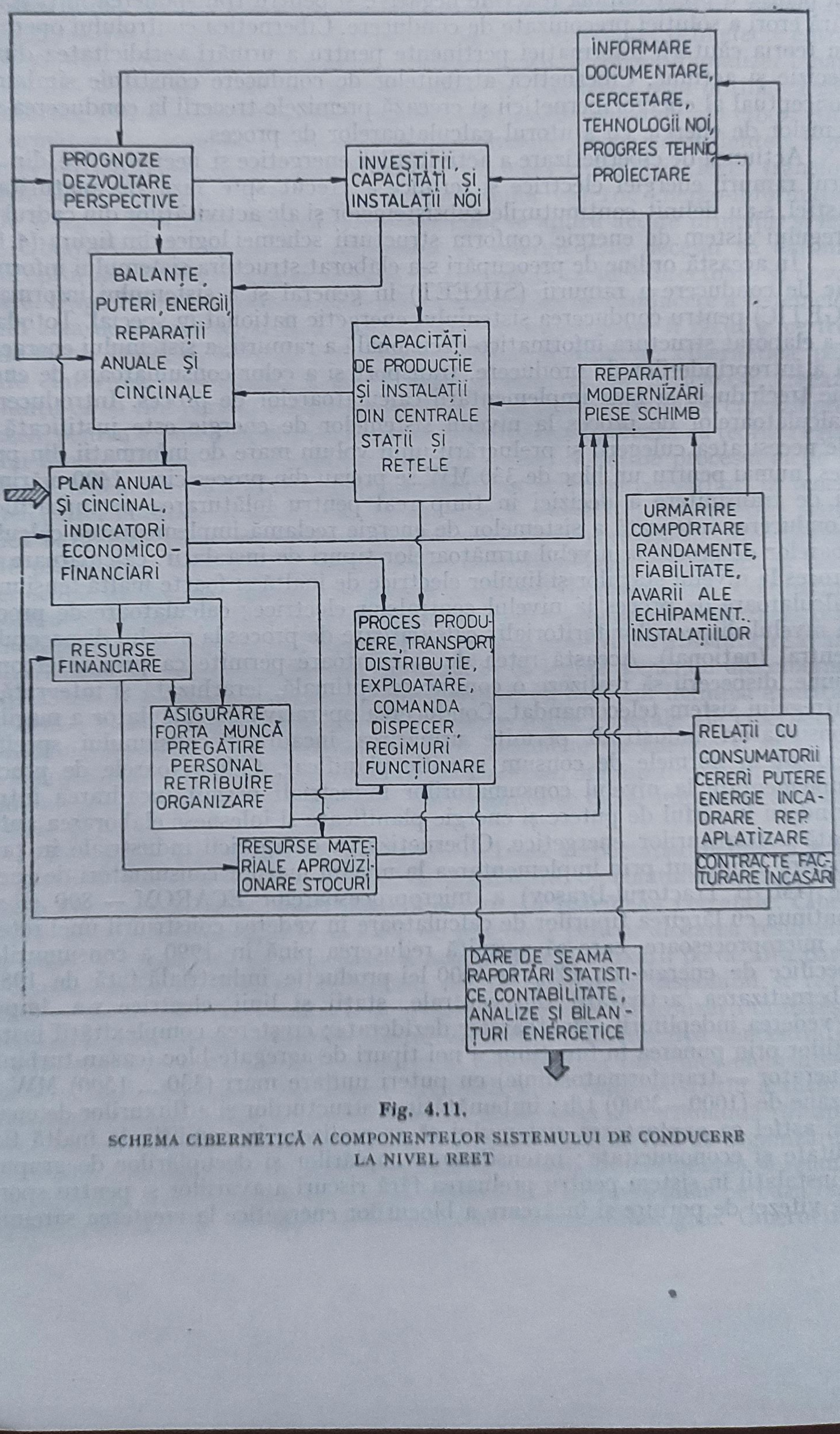


Fig. 4.11.

SCHEMA CIBERNETICĂ A COMPONENTELOR SISTEMULUI DE CONDUCERE LA NIVEL REET

culegerea, prelucrarea și transmiterea datelor în vederea construirii rapide a deciziilor și comunicarea hotărîrilor în cel mai scurt timp pentru ca prin acțiunile declanșate să se elimine perturbațiile din sistemul analizat; optimizarea funcționării tuturor instalațiilor prin intermediul calculatoarelor de proces cu scopul găsirii regimului optim și a menținerii acestuia pe toată durata de funcționare a întregului sistem. Realizările și tendințele cibernetizării din cadrul centralelor, stațiilor și liniilor electrice cu ajutorul calculatoarelor de proces s-au concretizat prin mărirea numărului de calculatoare care conduc pe bază de program ansambluri energetice integrate în structura generală a sistemului de energie.

Dintre centralele și stațiile electrice echipate cu calculatoare de proces, avînd funcții de reglare și comandă secvențială inclusiv cea de realizare a mersului optim-economic reținatenția următoarele:

— Centrala electrică Huntington Beach Anglia, echipată cu două grupuri de 210 MW și cu cazane Benson alimentate cu combustibil superior beneficiază de aportul a două calculatoare de proces GE-312, care comandă operativ cîte un bloc energetic cazan-turbină-generator, asigurînd pornirea automată a turbinei și calculează indicatorii tehnico-economici ai fiecărui regim de funcționare a instalațiilor din centrală.

— Centrala electrică Sewaren Fawley-Anglia beneficiază de aportul unor calculatoare pentru conducerea optimală a unui grup cazan-turbină de 342 MW și 1000 t/h agregat cu circulație forțată și (4 ×500) MW cu cazane de 2000 t/h alimentate cu combustibil superior.

— Centralele nuclearo-electrice din Anglia (Berkely, Bradwell, Wylfa etc.) sînt comandate cu ajutorul calculatoarelor de proces în schemă „calculator pe bloc".

— Centralele electrice din URSS echipate cu grupuri de 200 MW; 300 MW și 800 MW beneficiază de o conducere automată cu ajutorul calculatoarelor de proces instalate pe fiecare bloc energetic în parte.

— Centrala nuclearo-electrică Monte d'Ares — Franța echipată cu un reactor de 250 MW_t beneficiază de serviciile unui calculator CAE — 530 pentru reglarea proceselor tehnologice.

— Centrala termoelectrică Crystal River — SUA echipată cu 2 × 400 MW și cazane alimentate cu cărbune, beneficiază de aportul unei scheme „calculator pe bloc" pentru coordonarea tuturor comenzilor secvențiale și pornirea automată a turbinelor inclusiv ajustarea programată a consumurilor din buclele de reglare principale.

— Centralele electrice din structura sistemului energetic național (CTE — Luduș, CET — Craiova ș.a.) sînt echipate cu calculatoare pe tip informațional în schemă „calculator pe centrală" la Luduș și „calculator pe bloc" la Craiova. Tipurile de calculatoare implementate la nivelul centralelor și stațiilor electrice erau cele fabricate în țară FELIX — C — 32, mașini de control centralizat indigene de tip MCC—200 adecvate prelucrării datelor, semnalizării depășirilor parametrilor nominali, calculul unor indicatori tehnico-economici și alte tipuri de microcalculatoare pentru diverse calcule economico-inginerești deservesc personalul operativ în vederea stabilirii și menținerii regimului cu consum specific rațional la nivelul producției de vîrf a centralelor din sistem. Datorită perfecționărilor aduse, atît la nivelul elementelor de

automatizare, cît și la nivelul perifericelor din cadrul instalațiilor de comandă operativă cu ajutorul calculatoarelor de proces s-au extins schemele de conducere operativă a centralelor și stațiilor din sistemul energetic românesc. Astfel partea de hard, s-a îmbogățit cu tipuri noi de calculatoare (Siemens-320 K; 330; C-8000 etc.), iar partea de soft a fost lărgită pe diverse tipuri de aplicații. Totodată stațiile electrice de conexiuni vor fi echipate cu calculatoare de proces de tip M-18.

La nivelul sistemului energetic se preconizează lărgirea cibernetizării comenzii operative a subsistemelor cu ajutorul calculatoarelor de proces, folosindu-se schema ierarhică-funcțională de conducere a întregului sistem. Astfel, există în funcțiune două calculatoare de proces de mare capacitate Siemens 330 la nivelul dispecerului național, care comandă cinci calculatoare de proces Siemens 320 K de la nivelul dispecerilor teritoriali (București, Cluj, Timișoara, Craiova, Bacău). Comanda operativă în concepția sistemică a întregului ansamblu electroenergetic din structura dispecerului energetic național se realizează pe baza schemei cibernetice redată în figura (4.12).

Pentru transpunerea în practică a schemei cibernetice de comandă operativă se împarte sistemul energetic în subsisteme astfel: I — subsistemul producției de energie; II — subsistemul transport și distribuție a energiei; III — subsistemul consumator de energie. Dacă această schemă ar putea cuprinde și subsistemul resurselor de combustibil atunci comanda operativă s-ar putea aplica fără restricții majore la nivelul întregului sistem de energie. Structura organizatorică a dispecerului energetic național care răspunde de concepția și realizarea optimală a comenzii operative la nivelul tuturor categoriilor de instalații din sistem se poate urmări pe figura (4.13).

Tendințele privind utilizarea calculatoarelor de proces la nivelul sistemului energetic național în actualul decenal și orientările pînă în anul 2000 decurg din prevederile Programului Directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei. Pe baza acestor prevederi s-a schițat soluția de înzestrare cu calculatoare a dispecerului național, a dispecerilor teritoriali și a dispecerilor de platformă, atît la nivelul furnizorilor de energie, cît și la nivelul consumatorilor de energie.

Pe baza acestor orientări s-a conceput organizarea comenzii operative la nivelul dispecerului național și s-au stabilit sarcinile fiecărei trepte ierarhice de conducere; nivel central (DEN) nivel teritorial (DET) și nivel de întreprindere (DEI), unde apar și coordonatorii de manevră (CM) așa cum rezultă din schema figurii (4.14).

În această schemă comanda operativă se realizează prin intermediul treptei centrale de dispeceri, care coordonează treptele teritoriale de dispeceri și centralele, inclusiv stațiile de puteri mari și tensiuni ridicate. Dispecerii teritoriali conduc operativ hidrocentrale și platformele industriale alimentate la tensiuni mai mici de 220 kV.

Crearea și extinderea rețelei de calculatoare pentru comanda operativă urmărește rezolvarea eficientă a următoarelor probleme: asigurarea supravegherii unitare a instalațiilor energetice la fiecare nivel și pe ansamblu sistemului; asigurarea funcționării optime a instalațiilor din punct de vedere tehnico-economic; asigurarea unui nivel dorit de siguranță în funcționarea instalațiilor; corelarea dotărilor tehnice, astfel ca deciziile să aibă condiții

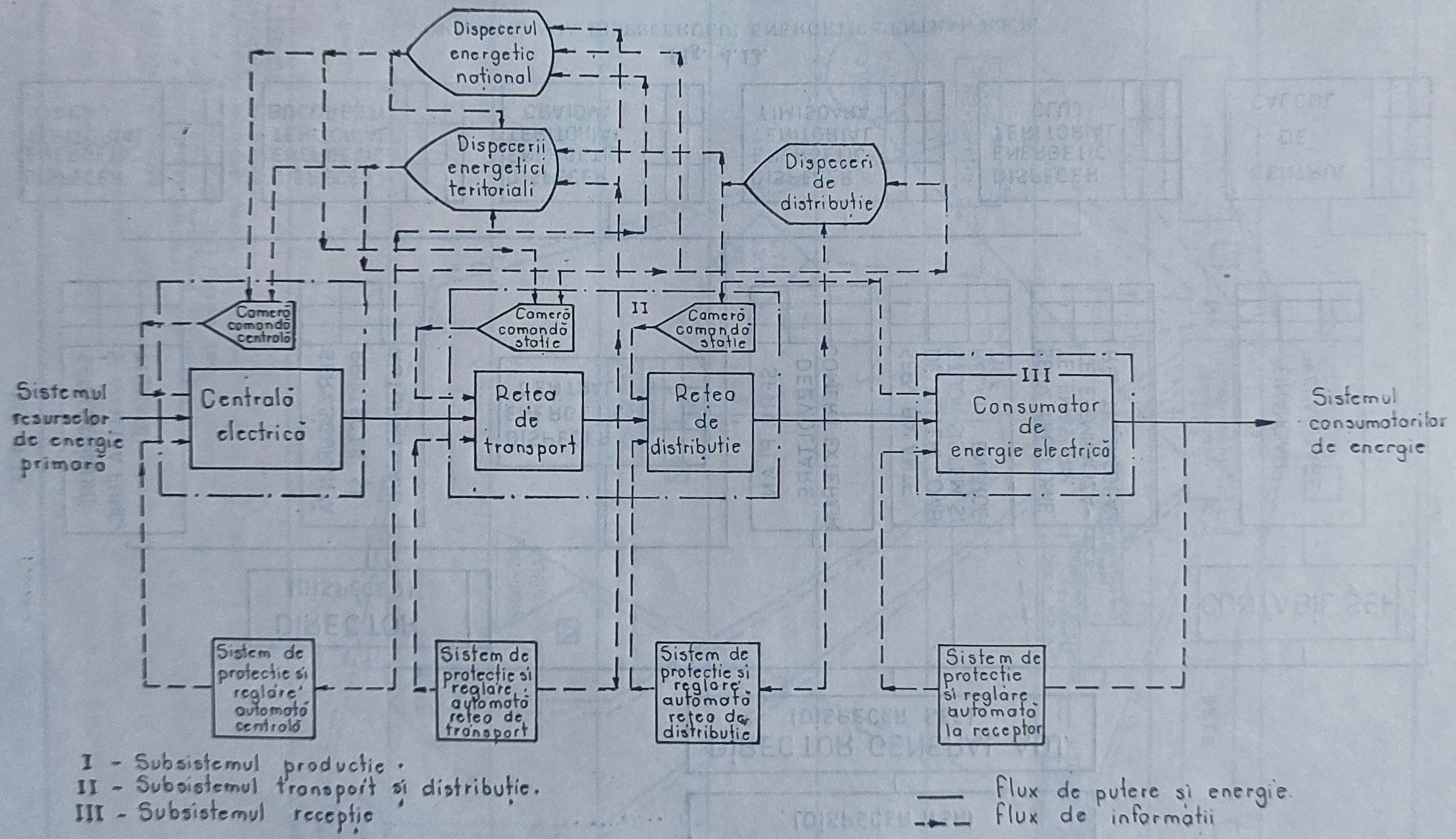


Fig. 4.12.

REPREZENTAREA CIBERNETICĂ A SISTEMULUI ELECTROENERGETIC

Fig. 4.13.

ORGANIGRAMA DISPECERULUI ENERGETIC CENTRAL R.S.R.

Fig. 4.14.

COMANDA OPERATIVĂ A INSTALAȚIILOR ENERGETICE

de realizare operativă în producție; asigurarea condițiilor de conducere operativă a microzonelor în cazul separării sistemului mai ales la apariția unor incidente extinse de exploatare, în concordanță cu prevederile studiilor de zonare și insularizare a instalațiilor energetice; realizarea unei evidențe automate a datelor pentru regimurile normale și pentru regimurile post-mortem a avariilor și formarea unor bănci de date pentru cunoașterea în timp real a stării sistemului; optimizarea regimurilor de funcționare, atît la nivelul celor trei nivele de organizare a comenzii operative (DET; DEI; CM) cît și la nivelul dispecerului energetic național (DEN). Îmbunătățirea comenzii operative de conducere previzională a sistemului energetic se concretizează printr-o concentrare mai mare a telecomenzilor și prin utilizarea unor echipamente noi perfecționate, atît în partea de hard, cît și în partea de soft. La aceste deziderate se mai adaugă asigurarea unei operativități sporite în vederea creșterii productivității muncii, supravegherea permanentă a stării sistemului energetic cu scopul îmbunătățirii indicatorilor tehnico-economici la nivelul fiecărei tip de instalație, ținînd cont în special de regimul lor de funcționare.

Concepția realizării comenzii operative a sistemului energetic național are la bază următoarele idei: împărțirea sistemului energetic în subsisteme și zone astfel ca fiecare zonă „decupată" din ansamblu să poată fi condusă optimal mai ales în cazul unor perturbații puternice la nivelul întregului sistem; crearea unei scheme operative de comandă pe trei nivele de conducere și anume: dispecer energetic național (DEN); dispecer energetic teritorial (DET) și dispecer energetic de platformă industrială (DEI). În județele în care nu există întreprindere de rețele vor apărea puncte de comandă operativă (PCC). Dotarea punctelor de dispeceri cu calculatoare de proces de mare capacitate și înaltă fiabilitate în vederea creării unei rețele puternice de conducere operativă a instalațiilor energetice, care să se reflecte în nivelul ridicat al indicilor de economicitate a întregului sistem; formarea unei bănci de date pentru cunoașterea stării sistemului și pentru lărgirea gamei de aplicații în vederea optimizării balanței de puteri de la nivelul întregului sistem de energie; realizarea buclei de legătură a sistemului energetic național cu alte sisteme energetice în vederea cooperării în condiții reciproc avantajoase cu alte țări din Europa. Cu ajutorul rețelei de calculatoare de proces realizată la nivel național se pot obține în timp real toate elementele necesare caracterizării stărilor dinamice ale sistemului energetic, toate tipurile de informații necesare organizării băncilor de date în vederea construirii deciziilor cu scopul realizării regimurilor optime de funcționare a întregului sistem. Schimbul de informații la nivel DEN se poate urmări pe figura (4.15).

Principalele probleme pe care le rezolvă decidenții cînd studiază aplicarea conducerii integrate cu ajutorul calculatoarelor a sistemelor energetice se referă la: supravegherea stării și configurației sistemului; calculul circulației de puteri active și reactive, repartiția optimă a sarcinilor pe agregate și pe centrale electrice; optimizarea pornirilor și opririlor unităților din sistem; determinarea rezervei de putere; reglajul centralizat frecvență-putere activă și tensiune-putere reactivă; coordonarea sistemelor de protecție; coordonarea transferurilor de energie; realizarea unei structuri optime a balanței de putere și energie la nivelul întregului sistem etc.

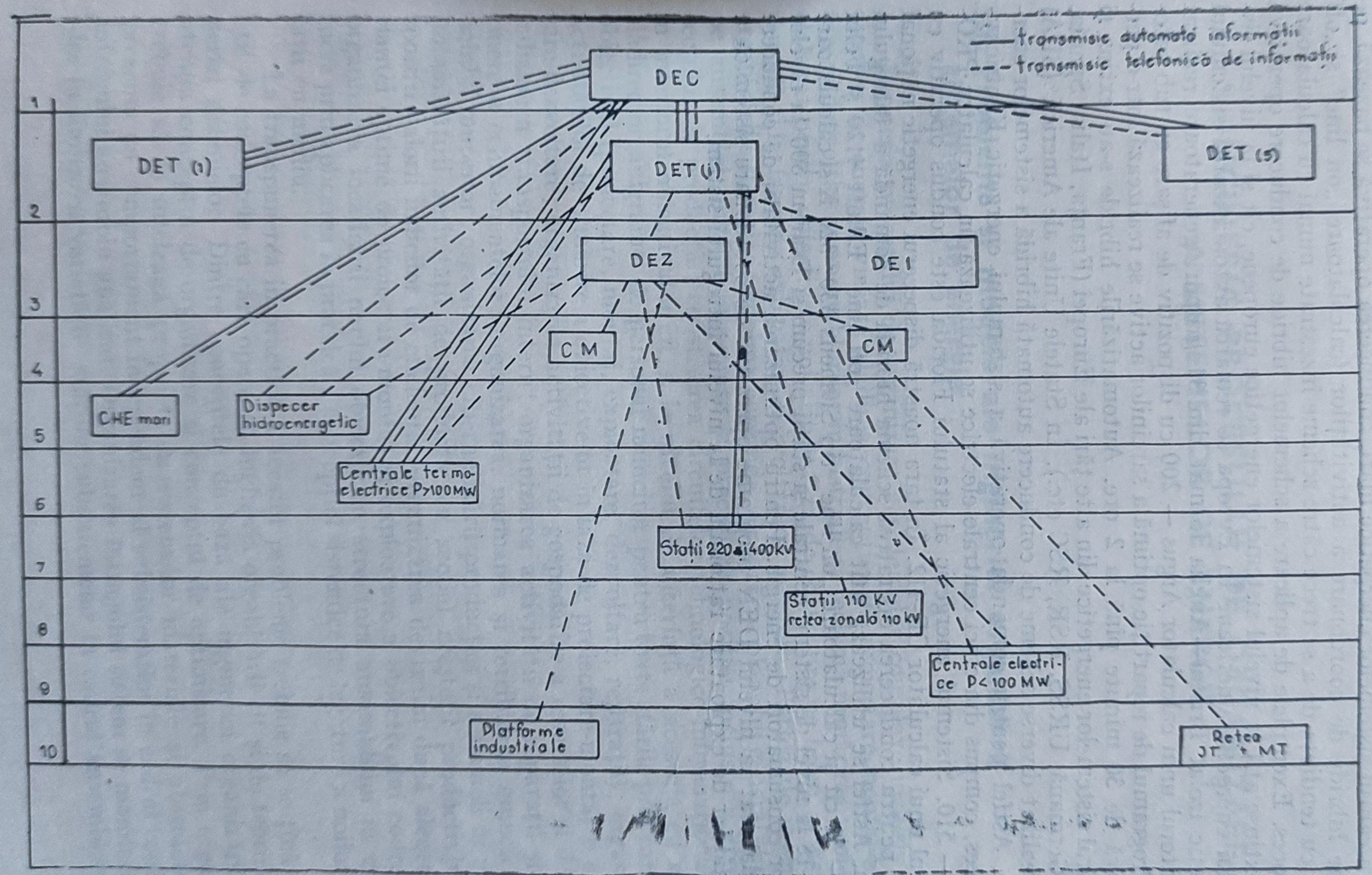


Fig. 4.15.
SCHEMA SCHIMBULUI DE INFORMAȚII PENTRU COMANDA OPERATIVĂ A INSTALAȚIILOR ENERGETICE

În cadrul sistemelor energetice mari, conducerea operativă se bazează pe scheme hibride de coordonare a activităților (calculatoare „on line" și „off line") cu tendința de a se trece către scheme înzestrate numai cu calculatoare de proces. Exemplele de aplicare a schemelor hibride de conducere operativă sînt extinse atît la nivelul sistemelor energetice europene, cît și la nivelul sistemului energetic american. În Europa se remarcă automatizarea sistemului energetic izolat Bristol—Anglia format din 31 grupuri generatoare realizat cu ajutorul unui calculator Argus — 200 cu dispozitiv de afișare cu tub catodic. Programul de repartiție optimă a sarcinilor active se realizează într-o perspectivă de 30 minute pînă la 2 ore. Automatizările hibride s-au extins și în cadrul sistemelor energetice din alte țări ale Europei (Franța, Italia, Spania, R.F. Germană, URSS, RSR, RSC etc.). În Statele Unite ale Americii (SUA) s-au realizat diverse scheme de conducere automată hibridă a sistemelor energetice. Astfel pentru comanda operativă a sistemului energetic Kentucky-Utilitees, compus din cinci centrale electrice se utilizează un calculator PRODAC — 510. Sistemul energetic al statului Florida este condus operativ cu ajutorul unui calculator CE-412. În țara noastră dispecerul energetic național aplică pentru conducerea operativă schema hibridă de comandă a întregului sistem. Astfel se utilizează atît calculatoare „off line" Elliott 4120 și Felix — C — 32 cît și calculatoare „on line" tip Siemens 330; 320 K și calculatoare tip M-18 la nivel de sistem, centrale și stații precum și Ecarom 800 la nivelul marilor consumatori de energie. Pentru optimizarea activității de conducere s-au elaborat la nivelul DEN programe operative de coordonare sistemică a activităților de exploatare rațională de la nivelul întregului sistem.

5. INGINERIA PROCESULUI DE ORGANIZARE A SISTEMELOR DE ENERGIE

5.1. Probleme și modele ale ingineriei organizării sistemelor de energie

Ingineria procesului de organizare a sistemelor complexe inclusiv a sistemelor de energie vizează clădirea concepției de proiectare-montaj-exploatare și dezvoltare a ansamblurilor industriale și reclamă urmărirea proiectului elaborat pentru obiectivele noi atît în faza de construire pe teren a instalațiilor cît și în faza de exploatare-dezvoltare a acestora. Partea de inginerie a organizării sistemelor complexe cuprinde: elaborarea planului general (Fig. 5.1) pe ansamblul unității proiectate și precizarea poziției inclusiv a structurii secțiilor de producție; construirea circuitelor tehnologico-informaționale atît în interiorul obiectivului cît și la nivelul de interfață a acestuia cu mediu; clădirea organigramei de personal muncitor pentru toate stările prin care trece obiectivul (proiectare, montaj, exploatare, dezvoltare, reparații); organizarea activităților de urmărire a obiectivelor în faza de proiectare-montaj și exploatare-dezvoltare; organizarea activității de gospodărire a resurselor și de raționalizare a transportului intern; organizarea activității de reparații și întreținere a echipamentelor; organizarea, normarea și retribuirea muncii personalului muncitor; organizarea cibernetizării producției și a muncii în vederea îmbunătățirii activității de producție cu scopul creșterii productivității și sporirii valorii indicilor de eficiență; organizarea devizului după alegerea variantei optime de proiectare-montaj și exploatare a obiectivului conceput și organizarea încadrării noului obiectiv în structura ansamblului în care va lucra prin aplicarea în practică a concepției sistemice de legătură a noilor instalații cu mediu.

La transpunerea în practică a acestor probleme trebuie să se țină seama atît de conceptele cu care operează ingineria organizării cît și de teoriile ingineriei sistemelor. Dintre conceptele de bază ale ingineriei organizării reținem atenția conceptul de organizare și conceptul de optimizare. Prin organizare trebuie să se înțeleagă proprietatea sistemelor materiale și abstracte de-a prezenta un comportament independent al subsistemelor în cadrul conexiunii întregului ansamblu analizat. Organizarea întregului sistem se manifestă mai ales în limitarea varietății stărilor subsistemelor în cadrul ansamblului cer-

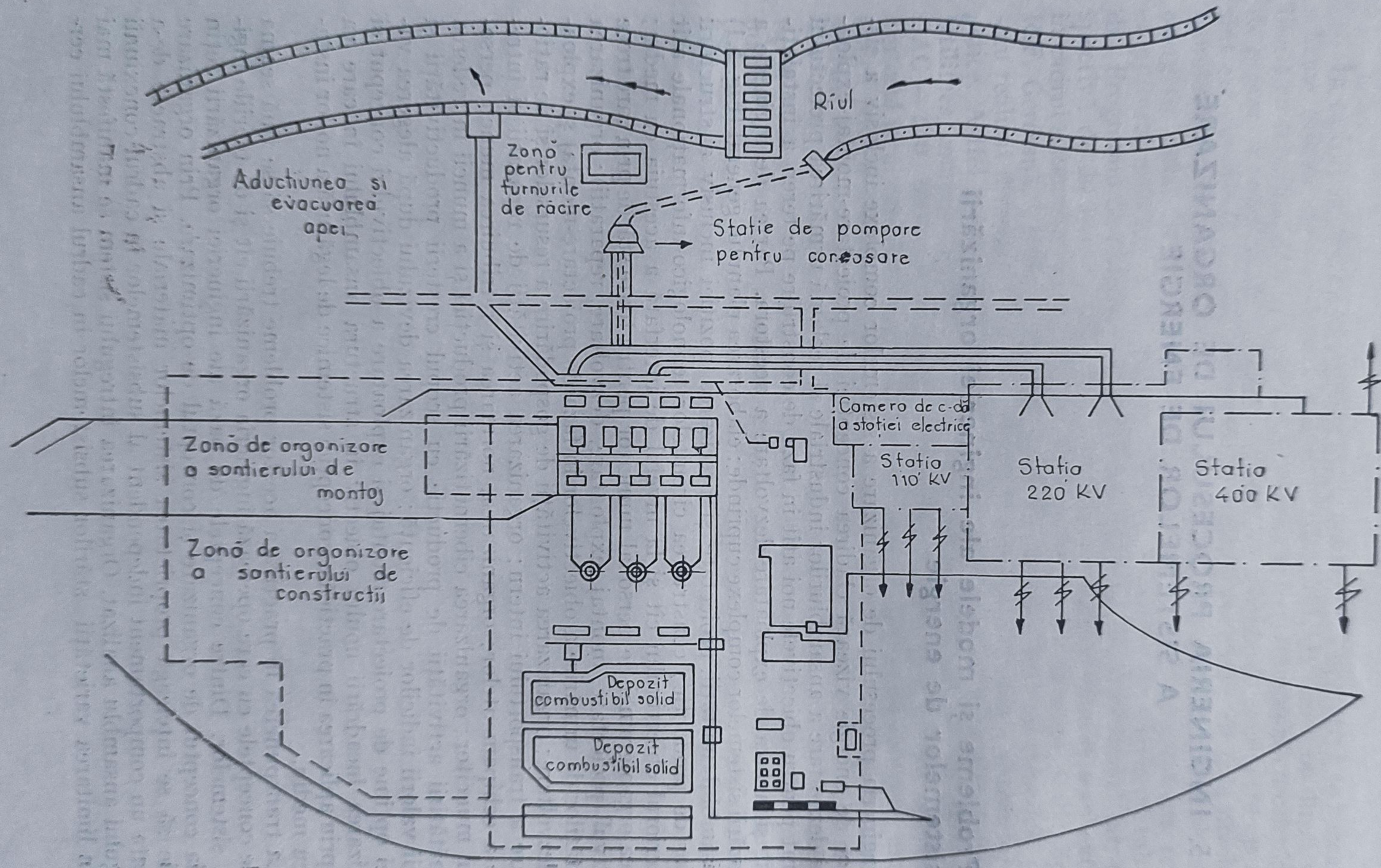


Fig. 5.1.
SCHIȚA PLANULUI GENERAL AL UNEI C.E.T.

cetat. Organizarea sistemelor complexe se poate studia comportamental și structural. În primul caz se analizează numai schimbările reciproce dintre perechile de variabile denumite mulțimi de intrare și ieșire, iar în cel de-al doilea caz se studiază conexiunea internă a subsistemelor ce compun întregul și se definește structura internă pe subsisteme a sistemului analizat. Organizarea comportamentală a sistemelor se află într-o strînsă legătură cu caracteristicile sale dinamice și cu stabilitatea acestora. Modul de reuniune a subsistemelor unui ansamblu unitar determină sensibilitatea acestuia față de perturbații, respectiv față de modificările parametrilor sub influența mediului ambiant. Structurile sistemelor complexe trebuie astfel construite încît să nu ducă la pierderea calităților dinamice și a stabilității construcției. Acest lucru se poate realiza prin construirea unei structuri variabile a subsistemelor care poate imprima întregului sistem caracterul de adaptabilitate la condițiile restrictive impuse de mediu. Gradul de organizare a sistemului cu structura variabilă trebuie să corespună gradului de organizare a mediului în ideea ca într-un mediu bogat în conexiuni interne un sistem cu o complecxitate corespunzătoare a organizării subsistemelor sale se adaptează rapid și supraviețuiește mai mult față de sistemele cu structuri rigide. Gradul de organizare a sistemelor complexe este determinat de legea varietății necesare supraviețuirii lui în condiții restrictive impuse. Aceste structuri organizatorice se pot perfecționa odată cu îmbunătățirea structurii conducerii sistemului. Conceptul de optimizare succede celui de organizare și vizează ordonarea mai profundă a activităților din cadrul sistemelor complexe, astfel ca desfășurarea evenimentelor interne și a celor de la frontiera acestora cu mediul să se facă cu pierderi minime. Implementarea conceptului de optim la nivelul unui sistem complex trebuie să înceapă cu ordonarea și să continue cu modelarea și organizarea intensiv-extensivă a tuturor activităților. Optimizarea se realizează prin extremizarea unei performanțe în funcție de setul de restricții impus sistemului de mediu. Dacă sistemul nu ar fi puternic organizat și nu ar avea o structură variabilă la nivelul subsistemelor atunci adaptabilitatea sa la mediu prin intermediul conceptului de optim ar fi dificilă. La baza optimizării sistemelor complexe stă principiul optimalității elaborat de R. Bellman, care se enunță astfel: o politică optimală are proprietatea că, indiferent de starea inițială și de decizia inițială, deciziile ce se iau ulterior constituie neapărat o politică optimală în raport cu starea care rezultă din prima decizie. Teorema de optimalitate decurge din principiul lui Bellman și are următorul enunț: o politică optimală nu poate fi formată decît din subpolitici optimale. Pe baza acestor concepte trebuie abordate problemele de cercetare fundamentale și aplicative a organizării sistemelor complexe.

Printre problemele de cercetare fundamentală în domeniul ingineriei organizării sistemelor complexe care vor deschide calea transformării organizării într-o disciplină de concepție se pot înscrie în principal următoarele: concepția organizării previzionale a sistemelor de energie, plecîndu-se de la o structură dată; organizarea sistemelor de energie pe baza cercetării operaționale în care teoria calitativă a trecerii unei structuri din starea de dezordine la starea de ordine va crea concepția stabilității sistemelor în condiții de incertitudine totală; ingineria proiectării organizării sistemelor de energie în teoria optimizării activității energetice va permite extinderea concepției siste-

mice în domeniul montajului și exploatării instalațiilor energetice; ingineria organizării sistemelor de energie în teoria căutării în condiții de risc și incertitudine; ingineria organizării sistemice a activității energetice în teoria grafelor; ingineria cibernetizării activității de organizare a sistemelor de energie încă din faza de concepere a instalațiilor; ingineria organizării sistemelor de energie în concepția și analiza valorii pe baza teoriei costurilor și a teoriei deciziei. Din studiile de organizare pe probleme de cercetări fundamentale și cercetări aplicative trebuie să rezulte concepția previzională de organizare optimală a întregii activități. Pe baza acestei concepții se modelează activitatea atît în privința structurii noului obiectiv cît și în ceea ce privește fluxul de energie la vîrful sistemului. Problemele care trebuie cuprinse în modelul de optimizare a activității de cercetare-proiectare; construcții-montaj și exploatare-dezvoltare se referă la stocuri și așteptare; echipamente și ordonanțare, resurse umane și productivitate, căutare și risc, ingineria și analiza valorii, costuri și decizii. Modelele de stocuri și așteptare permit coordonarea resurselor cu necesarul și înlesnesc evitarea stărilor de penurie chiar în condițiile crizei de resurse energetice. Modelele de echipamente și ordonanțare permit determinarea variantei de coordonare a numărului de utilaje în funcțiune pentru acoperirea cererii de energie solicitată de dispeceri cu rezerva de putere și cu nivelul puterii în reparații în condiții grele de avarii și totodată înlesnesc încărcarea optimă a agregatelor astfel ca să se reducă atît consumul specific cît și consumul propriu tehnologic la nivelul întregului obiectiv energetic. Modelele ingineriei umane, respectiv cele ale productivității muncii permit rezolvarea recrutării selectării și pregătirii personalului muncitor, organizarea locurilor de lucru în condiții ergonomice și dezvoltarea dialogului om-calculator în ideea creșterii productivității muncii pe baza efortului de concepție. Modelele de căutare și risc permit găsirea soluției de dezvoltare în perspectivă a unui sistem complex în condiții de risc (economic, tehnologic, ecologic, informațional) și incertitudine totală. Modelele ingineriei și analizei valorii permit clădirea concepției de realizare a unor bunuri cu utilitate maximă în condiții de cost cît mai scăzute. Aceste modele înlesnesc corelarea principiilor de funcționare a instalațiilor cu cele economice vizînd introducerea noutăților atît la nivelul materialelor de construcție a obiectivelor energetice cît și la nivelul exploatării agregatelor. Valoarea de întrebuințare a unui produs trebuie concepută ținînd seama de principiul sistemic al legăturii produsului cu ansamblul instalației în care va lucra și luînd în considerație principiul funcționalității aplicat fiecărui produs din structura ansamblului nou. Modelele de costuri și cele de decizie permit stabilirea nivelurilor de cheltuieli și înlesnesc construirea deciziilor optime ținînd seama de corelațiile tehnologice și funcționale ce trebuie să existe între furnizorii și consumatorii de energie. La baza modelelor de costuri stă teoria prețurilor „umbră" denumită și teoria prețurilor optime. Modelele de decizii operează cu teoria jocurilor matematice, teoria jocurilor de întreprindere și teoria lanțurilor Marcov. După construirea modelelor pe baza teoriilor matematice ale organizării se trece la elaborarea programelor de calculator în vederea determinării indicatorilor de eficiență din cadrul structurii tehnologice și funcționale a soluției optime.

Modelele matematice cu care operează ingineria organizării, deși sînt în plină explozie, se pot sintetiza în forma-agregat a costului actualizat pe nivele

de concepție, pe nivele operative și pe nivele de urmărire-control. Structura matematică a modelului agregat trebuie să cuprindă cheltuieli și investiții pentru proiectarea-montajul și exploatarea sistemică a surselor de combustibil, a centralelor de producere a energiei, a lanțurilor energetice ce leagă centralele de consumatori și a rețelelor de la nivelul consumatorilor de energie. Problemele care apar la nivelul fiecărui subsistem din cadrul sistemului nou proiectat sînt legate de stocuri și așteptare, echipamente și ordonanțare; inginerie umană, prognoză, căutare și risc, ingineria și analiza valorii, costuri și decizie. Aceste probleme se modelează cu ajutorul cercetării operaționale și se optimizează prin minimizarea costului total actualizat în condiții de restricții impuse sistemului de mediu. Funcția de eficiență a modelului matematic cost actualizat se poate scrie sub următoarele forme:

$$Z_{tac_1}^{ingo} = [Z_{tac}^{cfp} + Z_{tac}^{tgc} + Z_{tac}^{tor} + Z_{tac}^{cpr} + Z_{tac}^{iav}]_{tac}^{PME}$$
$$Z_{tac_2}^{ingo} = [Z_{tac}^{st} + Z_{tac}^{op} + Z_{tac}^{uc}]_{cop}^{PME} \qquad (5\text{-}1)$$

$$Z_{tac}^{cfp} = [Z_{SR} + Z_{CE} + Z_{LE} + Z_{CO} + Z_{IF}]_{cop}^{PME} =$$
$$= [Z_{cop}^{C} + Z_{cop}^{P} + Z_{cop}^{M} + Z_{cop}^{E} + Z_{cop}^{D}]_{tac} \qquad (5\text{-}2)$$
$$Z_{tac}^{tor} = [Z_{SR} + Z_{CE} + Z_{LE} + Z_{CO} + Z_{IF}]_{cop}^{PME}$$
$$Z_{tac}^{cpr} = [Z_{SR} + Z_{CE} + Z_{LE} + Z_{CO} + Z_{IF}]_{cop}^{PME}$$
$$Z_{tac}^{iav} = [Z_{SR} + Z_{CE} + Z_{LE} + Z_{CO} + Z_{IF}]_{cop}^{PME}$$

$$Z_{tac}^{st} = [(Z_s + Z_a)^{st} + (Z_e + Z_{or})^{st} + (Z_{im} + Z_{pr})^{st} +$$
$$+ (Z_{cat} + Z_{rs})^{st} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{st}]_{tac}^{PME} \qquad (5\text{-}3)$$

$$Z_{tac}^{op} = [(Z_s + Z_a)^{op} + (Z_e + Z_{or})^{op} + (Z_{im} + Z_{pr})^{op} +$$
$$+ (Z_{cat} + Z_{rs})^{op} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{op}]_{tac}^{PME}$$

$$Z_{tac}^{uc} = [(Z_s + Z_a)^{uc} + (Z_e + Z_{or})^{uc} + (Z_{im} + Z_{pr})^{uc} +$$
$$+ (Z_{cat} + Z_{rs})^{uc} + (Z_{iav} + Z_{dd})^{uc}]_{tac}^{PME}$$

$$Z_{ing}^{CP} = [Z_{cop}^{C} + Z_{cop}^{P}] = [Z_{cop}^{orc} + Z_{cop}^{spr} + Z_{cop}^{exp} + Z_{cop}^{rsc} + Z_{cop}^{dnv}]_{tac}^{CP} \qquad (5\text{-}4)$$

$$Z_{ing}^{MED} = [(Z_{cop}^{os} + Z_{cop}^{co} + Z_{cop}^{pt})_M + Z_{cop}^{E} + Z_{cop}^{D}]_{tac}^{MED} \qquad (5\text{-}5)$$

Restricțiile se formulează la fiecare nivel de aplicare a funcției de eficiență cost-actualizat, ținînd seama de fenomenele modelate cu ajutorul cercetării operaționale în ideea ingineriei organizării sistemelor complexe în general, respectiv a sistemelor de energie, în particular.

În relațiile (5-1 ... 5-5) apar mărimile $Z_{tac_1}^{ingo}$ = cheltuielile totale actualizate reclamate de construirea concepției ingineriei organizării sistemelor de energie; Z_{tac}^{cfp} = cheltuielile totale actualizate făcute pentru cercetări fundamentale și aplicative în probleme de organizare a sistemelor de energie; Z_{tac}^{tgc}; Z_{tac}^{tor} = cheltuielile totale actualizate reclamate de teoriile generale ale conducerii (*tgc*) și organizării (*tor*) sistemelor de energie (informare-analiză-decizie) Z_{tac}^{cpr}; Z_{tac}^{iav} = cheltuielile totale actualizate pentru prognoză, căutare, risc (cpr) și pentru ingineria și analiza valorii (*iav*); $Z_{tac_2}^{ingo}$ = cheltuielile totale actualizate reclamate de ingineria organizării sistemelor de energie la diverse nivele cum ar fi: nivelul strategic-tactic (*st*), nivelul operativ (*op*) și nivelul de urmă-

rire-control (uc); Z_{SR}; Z_{CE}; Z_{LE}; Z_{CO}; Z_{IF}=cheltuielile totale actualizate la nivelul resurselor energetice (SR), la nivelul centralelor electrice (CE), la nivelul lanțurilor energetice (LE), la nivelul consumatorilor de energie (CO) și la nivelul interfaței sistem-mediu scrise pentru fazele de cercetare (C), proiectare (P), montaj (M), exploatare (E) și dezvoltare (D) a sistemelor de energie. Z_s; Z_a; Z_e; Z_{or}; Z_{im}; Z_{pr}; Z_{cat}; Z_{rs}; Z_{iav}; Z_{dd}=cheltuielile totale actualizate reclamate de aplicarea matematicii organizării la conceperea și realizarea sistemelor de energie în teoriile stocurilor și așteptării (Z_s; Z_a); echipamente și ordonanțare (Z_e; Z_{ot}); inginerie umană și prognoză (Z_{im}; Z_{pr}); căutare și risc (Z_{cat}; Z_{rs}); ingineria valorii și decizie (Z_{iav}; Z_{dd}); Z_{ing}^{CP} = cheltuielile totale actualizate reclamate de ingineria cercetării și proiectării părții de organizare a obiectivelor energetice care cuprind cheltuielile privind organizarea cercetării; (Z_{cop}^{orc}); privind studiile și proiectările obiectivelor concepute (Z_{cop}^{spr}); privind experimentele ce se fac (Z_{cop}^{exp}); privind preluarea riscului (Z_{cop}^{rsc}) și cheltuielile diverse, inclusiv cele neprevăzute (Z_{cop}^{dnp}); Z_{ing}^{MED}=cheltuielile totale actualizate privind organizarea montajului, exploatării și dezvoltării activității la nivelul obiectivelor energetice proiectate care cuprind cheltuielile de organizare a șantierelor (Z_{cop}^{os}); cheltuielile privind asigurarea organizării lucrărilor de construire a obiectivului energetic proiectat (Z_{cop}^{co}); cheltuielile legate de organizarea probelor tehnologice (Z_{cop}^{pt}); cheltuielile reclamate de organizarea exploatării și dezvoltării sistemului conceput (Z_{cop}^{E}); (Z_{cop}^{D}) scrise cu ajutorul cercetării operaționale ($co\phi$).

Organizarea sistemelor de energie trebuie făcută pe baza următoarelor idei: aplicarea concepției sistemice, modelarea activității de organizare în vederea optimizării și calcularea indicatorilor de eficiență și calitate cu ajutorul programelor de calculator. Concepția sistemică aplicată reclamă împărțirea ansamblului în subsisteme, precizarea structurilor organizatorice a fiecăruia și cuantificarea legăturilor (prin investiții și cheltuieli conexe și colaterale) cu celelate subsisteme. Modelarea se face în general cu matematica organizării cu scopul determinării variantei optime de proiectare a părții de organizare a obiectivelor de mare putere. Găsirea soluției optime și determinarea indicatorilor de eficiență-calitate trebuie asistată de calculator. Aplicarea în practică a acestor idei trebuie făcută după definirea conceptului de sistem și după cunoașterea nivelului de organizare a ansamblului energetic analizat.

5.2. Concepția organizării structurale a sistemelor de energie

Conceperea organizării structurale a sistemului național de energie reclamă cunoașterea conceptelor ingineriei sistemelor și aplicării lor la realizarea structurilor energetice. Dintre conceptele ingineriei sistemelor reținatenția conceptul de sistem și cel de organizare sistemică structurală. Conceptul de sistem este definit în [81] ca o reuniune ordonată de elemente care permite realizarea unui obiectiv definit în prealabil prin intermediul unui plan. Definiția înglobează un scop (obiectiv) care motivează concepția sistemului, o

anumită organizare (o ordonare) raţional-structurală a elementelor din interiorul sistemului şi asigurarea energiei tehnologice şi informaţionale necesare realizării obiectivelor din plan. Înţelegerea conceptului de sistem trebuie să se bazeze pe următoarele elemente caracteristice: conexiunile elementelor interne ale sistemului sînt mai puternice decît legăturile sale cu mediu; orice sistem oricît de complex ar fi este un subsistem al unui sistem mai cuprinzător; unitatea unui sistem presupune o anumită ordine în aşezarea şi funcţionarea elementelor sale; orice sistem poate fi caracterizat printr-o anumită structură proprie de funcţionare; orice sistem comportă două bucle de reglare din care una este de autoreglare internă, iar cealaltă face legătura cu sistemul ierarhic care-l include. În sfera producţiei un rol de bază îl joacă sistemul om-maşină. Prin sistemul om-maşină — se înţelege un ansamblu format din resurse umane şi instalaţii tehnologice legate printr-o reţea de informaţii în ideea realizării scopului ce decurge din planul de producţie. Principalele caracteristici ale sistemului om-maşină sînt următoarele: existenţa unui scop care defineşte structura şi gradul de complexitate a sistemului; condiţionarea performanţelor sale prin eficienţa funcţionării tuturor componentelor; depăşirea prin modul de lucru a gradului de eficienţă prestabilit la nivelul fiecărui element component al sistemului. Funcţiile sistemului om-maşină sînt următoarele: recepţionarea informaţiei în urma decodificării datelor primite; păstrarea în memorie a informaţiilor descifrate; tratarea informaţiei şi înscrierea ei în flux; construirea deciziei şi transmiterea acesteia spre procesul de producţie; declanşarea şi realizarea acţiunii precum şi controlul modului de aplicare a deciziei.

A conduce şi organiza sistemic un ansamblu industrial înseamnă a modela elementele de structură ale procesului cu scopul de-a releva fenomenele ce se produc în sistem, de-a prevedea şi aprecia consecinţele respectiv utilităţile diferitelor strategii şi de-a lua măsuri ca evoluţia întregului sistem să corespundă scopului urmărit. În cadrul unei întreprinderi conceptul de sistem trebuie înţeles ca un ansamblu de elemente (oameni, maşini şi alte resurse) cu o anumită organizare informaţional-decizională proprie atît la nivelul întregului sistem cît şi la nivelul subsistemelor componente care acţionează în ideea realizării sarcinilor prognozate. În cadrul oricărei întreprinderi deosebim trei subsisteme şi anume: subsistemul tehnologic, subsistemul informaţional-decizional şi subsistemul resurselor umane. Fluxurile din cadrul proceselor tehnologice ale unei întreprinderi se clasifică astfel: fluxuri materiale, fluxuri energetice şi fluxuri informaţionale. Tratarea sistemică a acestor fluxuri trebuie făcută pornind de la principiul cauză-efect. Fluxul de informaţie în procesul de producţie este direct legat de dinamica sistemului. Astfel fluxul material suferă transformări diferite pe baza utilizării fluxului de energie în diverse operaţii tehnologice conduse de oameni. Întregul proces este format din succesiuni de acţiuni cu durate precise şi intervale determinate între acţiuni. Momentul acţiunii, durata, tipul acţiunii reclamă un flux concret de informaţii, care se asociază celorlalte fluxuri (material şi energetic). Definirea stării sistemului, comportarea acesteia şi legăturile dintre elementele de structură ale sistemului se realizează prin intermediul fluxului de informaţii. După concretizarea corelaţiilor sistem-model se optimizează structura fluxurilor (material, energetic, informaţional) pe baza unui criteriu de performanţă.

Modelarea activității ca bază a optimizării părții de organizare a unui obiectiv energetic se face cu ajutorul teoriilor cercetării operaționale. Pentru fiecare teorie și pentru modelul agregat al cercetării operaționale se construiesc scheme logice și programe de calculator pe baza celor arătate în capitolele lucrării de față. Aplicarea organizării sistemice structurale la nivelul sistemului național de energie a început cu formele de organizare socială a producției (CSCC), prevăzute în directivele de partid și de stat din care au rezultat atît schemele de funcționare, cît și direcțiile de dezvoltare în perspectivă a întregului sistem. Formele de organizare socială a energeticii românești s-au concretizat prin: concentrarea întreprinderilor și formarea unităților de producție mari (electocentrale de diferite tipuri), formarea unităților de montaj, proiectare-cercetare, crearea centralelor industriale (CIPEET și CIRE) și a unităților de reparație inclusiv a celor de conducere operativă (DEN); specializarea întreprinderilor după felul activității: cercetare-proiectare (ICEMENERG; ISPE; ISPH); construcții-montaj (ENM; ELM; ENU); exploatare (CTE, CHE; CNE; IRE; IDE) reparații (IRUE) și unități speciale. Cooperarea întreprinderilor energetice din cadrul dispeceratului energetic național (DEN) se realizează prin intermediul interconexiunii iar la nivelul celorlalte întreprinderi din ramură, cooperarea respectă principiile din cadrul construcțiilor de mașini. Cooperarea a dus la formarea unor structuri complexe, care au stat la baza închegării sistemului național de energie. Sistemul național de energie cooperează cu alte sisteme energetice în cadrul dispeceratului de la Praha, păstrîndu-și independența structurală și funcțională în limitele configurației teritoriale.

Concepția organizării structurale a sistemului național de energie are la bază următoarele idei: împărțirea sistemului de energie în cinci subsisteme cu următoarele denumiri: subsistemul resurselor energetice; subsistemul centralelor de producere a energiei; subsistemul lanțurilor energetice pentru transportul energiei; subsistemul instalațiilor pentru distribuția energiei la consumator și subsistemul legăturilor întregului sistem cu mediu. Organizarea activității energetice trebuie realizată pe fazele de evoluție ale sistemului și anume: faza cercetării-proiectării, faza de construcții-montaj și faza exploatării-dezvoltării a întregului ansamblu energetic în concepția sistemică.

Scopul îmbunătățirii organizării actuale a sistemului național de energie constă pe de o parte în conceperea și realizarea celor mai eficiente soluții de cercetare-proiectare-montaj a unităților noi și dezvoltarea unităților în funcțiune, iar pe de altă parte trebuie urmărită exploatarea rațională a întregului sistem în ideea reducerii cosumurilor specifice și a consumurilor proprii tehnologice de energie și combustibil pînă la nivelul performanțelor de pe plan mondial. Aceste acțiuni urmăresc creșterea fiabilității instalațiilor în condiții de maximă eficiență tehnică și economică; organizarea sistemului, a centralelor și a altor unități operative se face pe secții de producție, respectiv pe grupuri de instalații (combustibil; cazane-turbine; partea electrică, laboratoare electrice și termice; calculatoare, partea hidrotehnică; activități de gospodărire și transport etc.); specificul activității de producere-transport și distribuție a energiei inclusiv întreținerea și repararea instalațiilor energetice reclamă o organizare diferită față de schemele aplicate în construcția de mașini. Astfel, în cadrul unei întreprinderi de rețele electrice activitatea

se organizează pe secții de înaltă și medie tensiune și pe centre de coordonare și întreținere a rețelelor în diverse zone ale teritoriului ce cade sub incidența unității centrale. În cadrul întreprinderilor mai există secții, respectiv centre de relații cu consumatorii; organizarea urmăririi producerii-transportului și distribuției energiei se face la nivel național pe baza schemei cu trei nivele: dispecer energetic național (DEN); dispeceri teritoriali (DT-Craiova; București, Bacău, Timișoara și Cluj); dispeceri energetici de întreprindere. Eficiența acestor forme de organizare justifică indicația din Programul-Directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei privind extinderea urmăririi prin dispecer de la nivelul sistemului energetic la nivelul întregului sistem național de energie; organizarea activității de dezvoltare a întregului sistem (cu legături interne și internaționale) pe baze energocibernetice. Această acțiune reclamă construirea concepției de cibernetizare atît a producției și transportului de energie cît și a distribuției respectiv a consumului de energie pe baza rețelelor de calculatoare „on-line". Schimbarea structurii balanței de purtători de la nivelul întregului sistem de energie prin eliminarea hidrocarburilor și înlocuirea lor cu cărbune, respectiv cu surse noi, (nucleare, hidrogenice, eoliene, heliotermice, geotermice, mareice etc.) reclamă studiul organizării încă de la începutul acestui deceniu a unor tipuri noi de sisteme bazate pe conceptul de energie totală. În această idee se întrevede concepția de elaborare (atît teoretic cît și experimental) a unor sisteme ecoenergetice la nivelul lanțurilor de resurse primare și a unor sisteme criogene la nivelul distribuției energiei electrice.

Dezvoltarea sistemelor de energie pe baza conceptelor noi de organizare a întregii activități reclamă cercetarea unor probleme fundamentale legate de teoria ordinii, teoria grafurilor de fluență, teoria optimizării în structura ingineriei sistemelor, teoria riscului, teoria și ingineria valorii, teoria controlului optimal etc. Organizarea montajului, inclusiv organizarea șantierelor și a exploatării, precum și organizarea probelor tehnologice a instalațiilor ca probleme operative trebuie rezolvate încă din fazele de cercetare și proiectare a obiectivelor energetice noi. Ingineria organizării sistemelor de energie va fi expusă în cele ce urmează prin dezvoltarea următoarelor teme: organizarea optimală a sistemelor de energie în teoria cercetării operaționale, organizarea optimală a sistemelor de energie în teoria grafelor și organizarea optimală a sistemelor de energie în teoria exploatării.

5.3. Ingineria organizării sistemelor de energie în teoria cercetării operaționale

Cercetarea operațională ca una din cele mai noi ramuri ale matematicii aplicate analizează și modelează științific fenomenele de organizare și permite pregătirea riguroasă a deciziilor. Termenul englezesc „Operational Research" înseamnă cercetarea pentru înțelegerea unui fenomen în vederea acțiunii. Ca disciplină de specialitate, cercetarea operațională are un domeniu propriu de cercetare și anume organizarea sistemelor complexe, pe baza teoriilor proprii și a principiilor, legilor și metodelor specifice. Cercetarea operațională se poate defini pe scurt ca disciplină matematică de pregătire științifică a deciziilor.

Problemele ce cad sub incidența cercetării operaționale se referă la următoarele aspecte ale organizării sistemelor: probleme de gestiune a resurselor; probleme de serviri în masă, probleme de stabilirea uzurii și de înlocuire a utilajelor, probleme de repartiție și ordonanțare, probleme ale organizării muncii, probleme de prognoză, probleme de căutare, probleme de risc, probleme de concepere a valorii și probleme conflictuale în vederea obținerii unor soluții eficiente pentru realizarea unor acțiuni raționale în condiții restrictive impuse sistemului analizat de mediul înconjurător. O definiție mai cuprinzătoare a cercetării operaționale arată că această disciplină permite aplicarea metodelor matematice de către echipe interdisciplinare la studiul problemelor de organizare și conducere cu scopul obținerii unor soluții care să permită optimizarea activității sistemelor complexe. Teoriile cu care operează cercetarea operațională în vederea organizării optimale a activității sistemelor complexe au următoarele denumiri: teoria stocurilor, teoria așteptării, teoria echipamentelor, teoria ordonanțării, teoria resurselor umane, teoria prognozei, teoria căutării, teoria riscului, teoria costurilor și teoria deciziilor. Conținutul acestor teorii se va expune în cele ce urmează în structura ingineriei organizării sistemelor complexe în general și a sistemelor de energie în particular. Această idee presupune concretizarea concepției și strategiei de formulare a problemelor de organizare astfel ca să se treacă la optimizarea întregii activități pe baza modelelor ingineriei sistemelor.

Aspectele fenomenologice ale teoriilor cercetării operaționale aplicate în organizarea sistemelor de energie vor fi expuse pe cele cinci funcțiuni ale unităților industriale și anume: aspecte fenomenologice ale funcției de cercetare-dezvoltare ținînd cont de teoriile prognoză-căutare și risc-catastrofă; aspecte fenomenologice ale funcției de aprovizionare-desfacere făcînd apel la teoriile stocare-așteptare-marketing; aspecte fenomenologice ale funcției de producție luîndu-se în considerație conținutul teoriilor echipamente-ordonanțare; aspecte fenomenologice ale ingineriei umane care constituie sîmburele funcției de personal și aspecte fenomenologice ale funcției financiar-contabile cu referire la problemele ingineriei valorii, problemele de cost și tarife și problemele construirii deciziei optime ținînd cont de eficiența și calitatea întregii activități. După expunerea aspectelor fenomenologice ale teoriilor matematice ale cercetării operaționale se va prezenta sinteza modelelor de optimizare a organizării sistemelor de energie cu scopul determinării variantei optime de proiectare și implementare a noii concepții în structura sistemului energetic național.

5.3.1. Aspecte fenomenologice ale teoriilor prognoză-căutare și risc-catastrofă

Teoriile matematicii organizării cu care operează funcția de cercetare-dezvoltare din cadrul sistemelor de energie sînt prognoză-căutarea și risc-catastrofă. Pe baza lor se construiește strategia dezvoltării atît a structurii sistemului cît și a fluxurilor de energie care înlesnește introducerea progresului tehnic la nivelul instalațiilor energetice și asigură calitatea producerii transportului și utilizării raționale a tuturor formelor de energie.

Prognoză înseamnă cunoașterea în viitor a tuturor situațiilor ce pot apărea în evoluția întregului sistem analizat. Ea este o preplanificare pregătind informații pentru elaborarea planurilor. Planificarea poate schimba rațional prognoza. Prin strategia dezvoltării se urmărește ca relația dintre prognoză și planificare să fie cît mai eficientă. Principalele sarcini ale prognozei la elaborarea planurilor sînt următoarele: stabilirea tendințelor de evoluție ale sistemelor în condiții restrictive impuse de mediu; determinarea elementelor cantitative și calitative ale dezvoltării, precizarea alternativelor de dezvoltare a întregului sistem pe o perioadă impusă inclusiv construirea deciziei optime de dezvoltare a sistemului analizat ținînd cont de orientările evoluției întregii economii spre punctele ce decurg din politica claselor conducătoare în stat. Prin prognoză trebuie precizat: unde se dorește să se ajungă; unde este posibil și pe ce căi se vor realiza obiectivele prevăzute; unde credem că putem ajunge, ce eforturi sînt necesare pentru atingerea orizontului propus și ce rezultate se așteaptă de la acțiunile preplanificate. Prognozele se clasifică după următoarele puncte de vedere: după necesitatea construirii deciziei deosebim prognoze directoare care depind de decizie și prognoze predictive care sînt independente de decizie. În primul caz se pregătesc elemente pentru dezvoltarea sistemului prin acțiuni declanșate prin decizii iar în cazul al doilea se studiază fenomenele naturale care nu depind de decizia umană. După tipul cercetării deosebim prognoze explorative care stabilesc tendințele de evoluție ale fenomenelor prin parcurgerea traseului trecut-prezent-viitor și prognoze normative care urmăresc atingerea unui viitor posibil stabilind căile de optimizare a soluției parcurgîndu-se traseul viitor-prezent. Combinarea prognozei normative cu prognoza explorativă permite elaborarea prognozei mixte. După orizont prognozele pot fi: pe termen scurt ($t \leqslant 5$ ani); pe termen mediu între cinci și cinsprezece ani ($t = 10$ ani) specifice dezvoltării decenale a energeticii și termen lung ($t > 15$ ani). După scopul urmărit deosebim: prognoze în profil teritorial; prognoze la nivelul ramurilor industriale și prognoze ale întregii economii. Metodele de prognoză pentru sistemele de energie au următoarele denumiri: metode de creativitate (anchete; analize morfologice; furtuna creierului; variantele Dephi); metode de extrapolare (liniară; exponențială; logistică); metode de corelație (simplă, multiplă); metode ale ingineriei sistemelor. Precizia prognozelor se determină prin patru metode și anume: metoda momentelor; metoda verosimilității maxime; metoda estimației bayesiene și metoda asigurării cu energie a consumatorilor. Prin metoda momentelor se stabilește precizia prognozei dacă se calculează momentele de ordinul unul și doi pe baza teoriei estimației. Metoda verosimilității maxime permite calcularea probabilității ca valorile variabililor de prognoză să cadă în interiorul intervalului de încredere. Metodele estimației bayesiene și a gradului de asigurare cu energie a consumatorilor permit calcularea probabilităților ca receptoarele și generatoarele să funcționeze fără defecte pe o perioadă prestabilită. Prognoza reală trebuie să fie un compromis între tendința de evitare a riscului de a nu acoperi valoarea cerută și între tendința de a restrînge, pe cît posibil, intervalul de încredere.

La nivelul sistemelor de energie prognozele pot fi de dimensionare și de planificare. Fiecare dintre ele pot prezenta riscul subdimensionării sau a supradimensionării. Riscul crește cu cît intervalul de încredere se lărgește.

Supradimensionarea prevede realizarea unor instalații care pot produce energie numai în viitor la eventuala apariție a unor noi consumatori. Subdimensionarea renunță la instalații suplimentare și aplică tehnica supraîncărcării grupurilor la ora de vîrf fără a putea prelua creșterile neprevăzute de sarcini energetice. Prin prognoză de dimensionate se prevede puterea necesară preluării vîrfului maxim de sarcină plus o rezervă suplimentară denumită rezervă de balanță. Prognoza de planificare urmărește satisfacerea planului de livrare a energiei fără a se putea prelua variațiile de sarcină. Practica arată că pagubele generate de o prognoză subdimensionată sînt mult mai mari decît costul instalațiilor suplimentare prevăzute în cazul prognozei supradimensionate. Prognozele de dezvoltare ale sistemelor de energie stabilesc atît nivelul treptelor de putere la vîrful sistemului cît și rezerva pe categorii după cum urmează: rezerva pentru acoperirea reducerilor temporare de putere (grupuri noi care nu au ajuns la maturitate, variația debitelor de apă în lacurile de acumulare; insuficiența apei de răcire la termocentrale; calitatea necorespunzătoare a combustibilului); rezerva pentru reglajul frecvență-putere de schimb (rezervă de sarcină); rezerva de reparații planificate; rezerva de avarie și rezerva de prognoză pentru preluarea variației probabiliste a sarcinii (rezerva de dimensionare). Rezerva totală la nivelul sistemului energetic românesc este de 25% din puterea instalată. Modelele de prognoză se elaborează atît pentru determinarea structurii lanțurilor energetice ce leagă sursa de consumator cît și pentru calculul fluxurilor de energie. Ele au caracter determinist sau probabilist și se concep atît pentru structuri discrete (montaj, reparații etc.) cît și pentru structuri continue (producere, transport, utilizare). Dintre tipurile de modele matematice care se aplică la prognoza sistemelor de energie sînt: modele bazate pe predictori liniari și neliniari, sezonieri și nesezonieri, modele regresionale și exponențiale și modele ale ingineriei sistemelor. Ele se elaborează atît pentru consumul casnic și industrial în cazul energiei transformate cît și pentru consumul total de resurse primare. Aplicarea modelelor de prognoză reclamă formarea unei bănci de date privitor la starea sistemului în trecut și prezent în vederea stabilirii regimului de funcționare și a determinării tendinței de evoluție a elementelor sale. Pentru a urmări tendința principală de evoluție a sistemului se descompune funcția de eficiență a modelului astfel: o funcție de timp de lungă durată denumită trend; o funcție de conjunctură; o funcție pentru influențe sezoniere și o funcție de zgomot rezidual. Dacă tendința de evoluție a fenomenelor se exprimă printr-o serie temporară, atunci prin ajustare se elimină conjunctura, influența sezonieră și se separă zgomotul de trend pe baza metodei celor mai mici pătrate. Dintre modelele de prognoză cunoscute, cele ale ingineriei sistemelor abordează integral problemele producerii previzionale a energiei ținînd seama de transport și distribuție reunite într-o concepție unitară. Ele reunesc modelele agregat ale matematicii organizării (modelele regresionale și exponențiale, modelele analitice bazate pe consumuri energetice și indicatori economici generali; modelele de comparare internațională a consumurilor) și le aplică sistemic pe traseul sursă-consumator sau viceversa cu scopul determinării soluției optime de producere-transport și utilizare a tuturor formelor de energie pe baza comparării variantelor. Variantele se pot compara numai după ce au fost echivalate din punct de vedere

energetic. Echivalarea reclamă ca variantele comparate să prezinte același efect util la consumator. Structura sistemului se poate optimiza pe baza modelelor clasice sau a modelelor Markov. Fluxul de energie se optimizează cu modele de bilanț general, bilanț electroenergetic și bilanț termoenergetic elaborate atît ca bilanțuri momentane cît și ca bilanțuri de perspectivă.

Prognoza este de calitate dacă tezaurul informațional este pertinent și nu imprimă goluri între necesarul de informații solicitat și disponibilul din banca de date. În vederea prevenirii acestor neajunsuri și în scopul predeterminării unui tezaur informațional optim pentru prognoză se recurge la teoria căutării. Această teorie a cercetării operaționale urmărește determinarea căilor de găsire a celor mai eficiente informații în vederea pregătirii strategiei decizionale de dezvoltare a sistemelor de energie. Pe baza teoriei căutării se pot depista punctele din sol unde apar surse de combustibil, se găsesc defecte entropice în structura fluxului informatic de la nivelul sistemului cercetat, se depistează erorile ce pot apărea într-o strategie de dezvoltare a energeticii, se selectează rebuturile dintr-un lot de piese supus controlului și se pot recunoaște formele pentru evitarea riscurilor. Depistarea surselor de combustibil din sol se face cu tehnica descoperirii țintelor militare camuflate așa cum se arată în literatură [26] [56]. Pentru găsirea defectelor entropice se calculează entropia și energia informațională care cuantifică perturbațiile din structura sistemului cercetat. Minimizarea entropiei și sporirea energiei informaționale duce la eliminarea punctelor din sistem în care apar defecte entropice. La aplicarea teoriei căutării pentru crearea cadrului de dezvoltare a sistemelor de energie și pentru controlul calității produselor pot apărea două tipuri de erori și anume: erori de observație și erori de selecție atît cantitative cît și calitative. Aceste erori se datoresc observatorului; aparatului de măsură; influenței mediului și obiectivului analizat. Erorile datorită observatorului se supun repartiției normale și respectă ecuația Bessel. Comparînd rezultatele căutării unui observator cu cele date de relația Bessel se depistează erorile de observație ale căutătorului. Diminuarea erorilor aparatelor de măsură se face mărind scara de precizie și ferind aparatele de influența mediului. Prin compararea măsurătorilor făcute în condiții oarecare cu cele realizate în condiții standard se scot în evidență erorile imprimate de mediu. Eroarea datorită obiectului studiat se determină pe baza principiului Heisenberg. Problemele de căutare se definesc în sens restrîns și în sens larg. În primul caz cantitatea totală de resurse este fixă iar în ultimul caz atît volumul selecției cît și cantitatea de resurse variază independent. Căutarea poate fi cantitativă și calitativă. În primul caz se măsoară una sau mai multe caracteristici ale fenomenelor, respectiv ale obiectelor studiate și se selectează aspectele pozitive prin decizii care țin seama și de căutarea calitativă. Căutarea cantitativă este mult mai dificilă ca cea calitativă datorită calculului complex al costurilor ocazionat de erorile care apar în procesele analizate. Costurile căutării sînt generate atît de operațiile de investigare cît și de erori (observații și selecție) și cuprind: cheltuieli de organizarea căutării, cheltuieli pentru efectuarea observațiilor și cheltuieli pentru prelucrarea informațiilor. La determinarea costurilor alegerea variabilelor controlabile (numărul de observații; procedeul de alegere a obiectelor supuse observației; felul în care se analizează datele) joacă un rol esențial. Optimizarea

căutării reclamă minimizarea costului mediu al erorilor pentru căutarea restrînsă și a costului total pentru căutarea în sens larg. Problemele de căutare pot avea caracter staționar la selectarea rebuturilor dintr-un lot de piese sau caracter dinamic la localizarea resurselor respectiv la delimitarea amplasamentelor obiectivelor energetice. Păstrarea secretă a unor cercetări, păstrarea strict secretă a unui tezaur se rezolvă cu ajutorul căutării inverse.

Problemele de căutare își găsesc o aplicație extinsă în controlul calitativ al produselor și anume: la nivelul strategiilor, la nivelul realizării produselor și la nivelul analizei rezultatelor obținute. La nivelul strategiilor calitatea se imprimă tuturor instalațiilor energetice prin proiectare și montaj. La nivelul producției, controlul are caracter statistic și se aplică la determinarea calității resurselor și produselor din procesul controlat. Controlul rezultatelor se face pentru creșterea conformității produselor și evitarea riscurilor de acceptare a loturilor cu defecte respectiv respingerea loturilor acceptabile. Problemele de căutare duc pe baza controlului la creșterea calității produselor. Prin calitate se înțelege ansamblul însușirilor de performanță și cele legate de creșterea valorilor de întrebuințare a produselor cu utilități ridicate care satisfac integral nevoile sociale. Calitatea reflectă nivelul tehnic al instalațiilor în care sînt incorporate produsele de mare utilitate. Indicatorii calității instalațiilor energetice sînt în principal următorii: siguranța în funcționare în condiții de creștere a randamentelor instalațiilor și de micșorare a consumurilor specifice, productivitate mărită pe seama creșterii indicilor intensivi de utilizare a instalațiilor, parametri funcționali la nivelul produselor de mare performanță realizate pe plan mondial; siguranță maximă în exploatare în condițiile păstrării constante a tensiunii și frecvenței pentru energia electrică produsă respectiv păstrarea constantă a presiunii și temperaturii pentru energia termică produsă. La acestea se adaugă continuitatea în alimentarea cu energie a tuturor consumatorilor de energie electrică și termică. Calitatea produselor și a instalațiilor este studiată de o nouă disciplină denumită Calimetrie care urmărește: definirea conceptelor de calitate și a indicatorilor aferenți, elaborarea modelelor de optimizare a calității; construirea programelor pentru proiectarea asistată de calculator a calității produselor. Asigurarea calității în R.S.R. se face pe baza respectării legii 7/1979 care introduce „marca de calitate" și precizează conținutul certificatului de calitate; a buletinului de analiză; a certificatului de garanție, a certificatului de expertiză și de inspecție. Calitatea trebuie corelată în producție cu conceptele de productivitate-cost-eficiență. Optimul calitate-cost se obține pe baza minimizării cheltuielilor de realizare a producției industriale din cadrul sistemului analizat. Aplicarea concepției sistemice la conceperea și realizarea produselor de calitate se face ținînd seama de structura schemelor de relații prezentată în figurile (5.2); (5.3). Aplicarea controlului de cali-

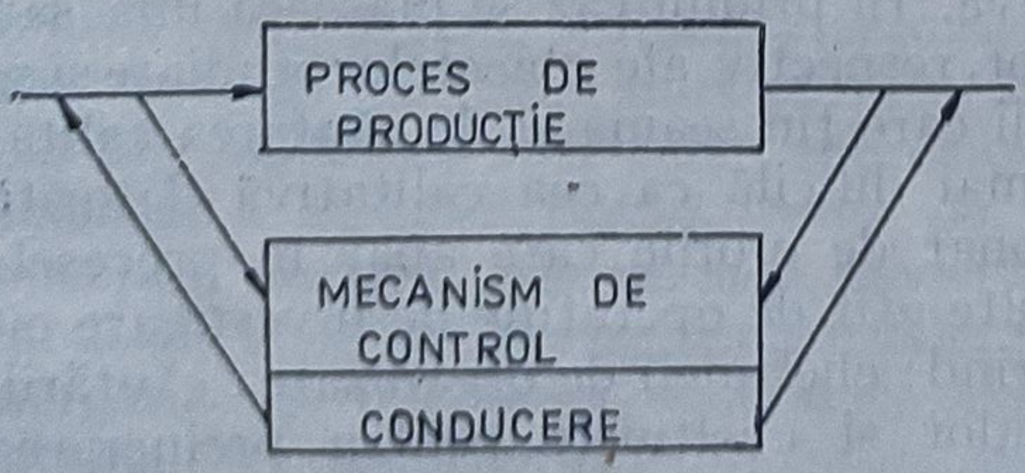


Fig. 5.2.
SCHEMA CIBERNETICĂ A PRODUCȚIEI PREZENTATĂ SISTEMIC

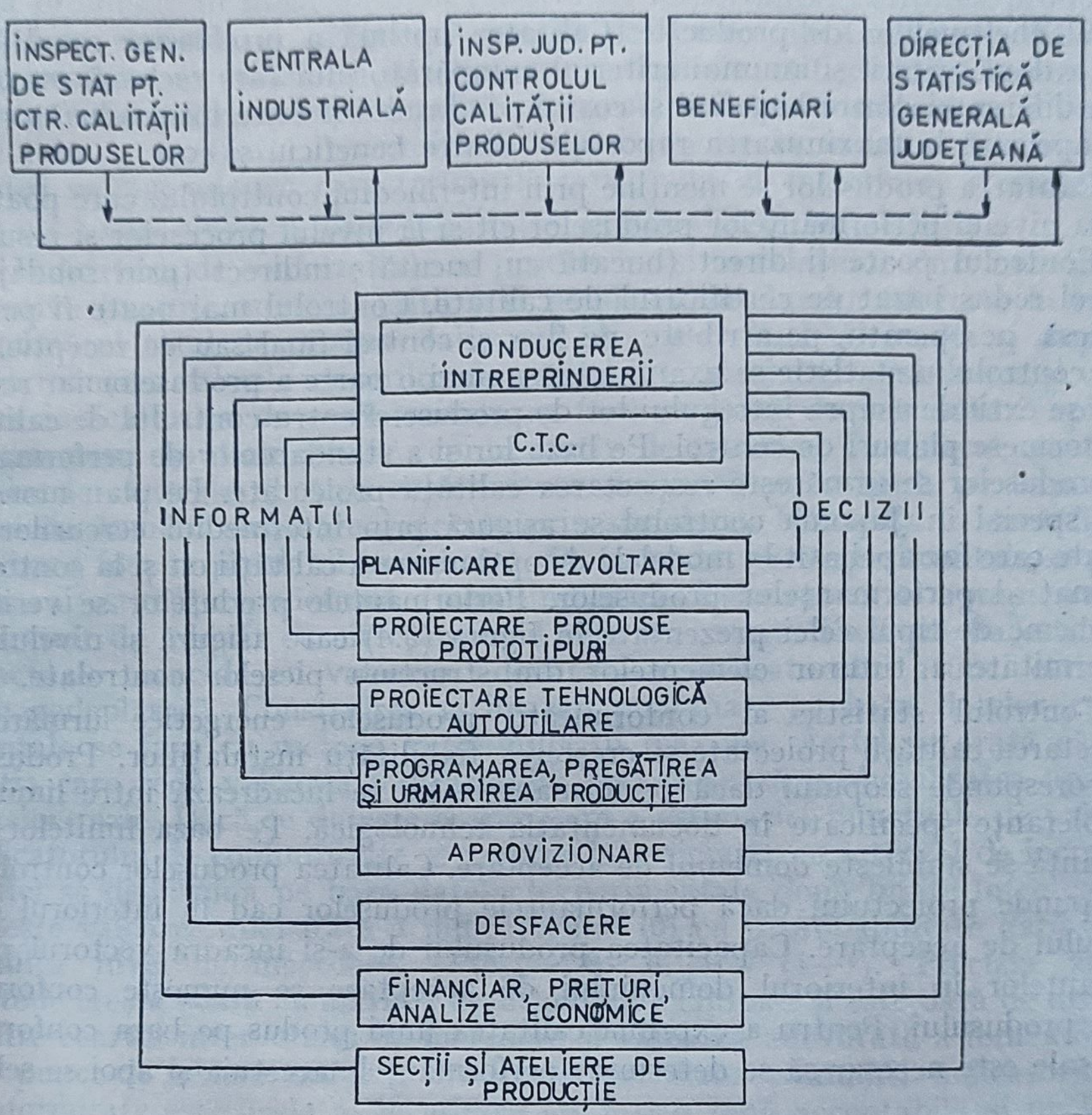


Fig. 5.3.

SCHEMA DE REPREZENTARE A PROCESELOR DE PRODUCȚIE PREZENTATĂ SISTEMIC ȘI SUPUSE CONTROLULUI DE CALITATE

tate în întreprinderi este asigurat prin compartimentul de control tehnic de calitate (CTC).

La realizarea calității produselor trebuie să concure toate funcțiile întreprinderii astfel ca prin proiectare să se asigure nivelul cerut al calității, aprovizionarea asigură resurse de calitate; producția face apel la cea mai bună tehnologie de prelucrare și antrenează la lucru oameni calificați pentru operații de înaltă calitate iar funcția financiar-contabilă trebuie să asigure fonduri pentru asigurarea calitativă a activității și să urmărească nivelul indicatorilor calitate-cost-eficiență. Indicatorii de calitate se referă la fiabilitate, la ergonomie și la economie. Primii reflectă condițiile de succes privind realizarea calității proiectate în condiții de funcționare fiabilă a tuturor instalațiilor. Indicatorii ergonomici sintetizează corelațiile dintre om-produs-mediu. Indicatorii economici reflectă cheltuielile pentru conceperea și realizarea produselor. Efortul pentru asigurarea calității produselor reprezintă 12% din

totalul cheltuielilor de producție. Calitatea optimă a produselor rezultă pe baza a două criterii și anume: criteriul cumpărătorului care reclamă maximizarea diferenței dintre beneficii și costul produsului și criteriul producătorului care apelează la maximizarea raportului dintre beneficiu și cost.

Calitatea produselor se menține prin intermediul controlului care poate fi atît la nivelul performanțelor produselor cît și la nivelul proceselor și resurselor. Controlul poate fi direct (bucată cu bucată); indirect (prin sondaj) și control redus bazat pe certificatul de calitate. Controlul mai poate fi pe tip de piesă, pe operații, pe atribute, pe flux și control final sau de recepție. Pe baza controlului statistic se examinează numai o parte a produselor iar rezultatul se extinde asupra întregului lot de produse. Pentru controlul de calitate se întocmesc planuri de control. Pe baza lor și a standardelor de performanță ale produselor se urmărește respectarea calității proiectate. Pe plan mondial și în special în Japonia controlul se asigură prin intermediul cercurilor de calitate care fac apel atît la modelele de optimizare a calității cît și la controlul automat al performanțelor produselor. Performanțele produselor se verifică cu scheme de tipul celei prezentate în figura (5.4) care asigură și nivelul de conformitate a tuturor elementelor din structura pieselor controlate.

Controlul statistic al conformității produselor energetice urmărește respectarea calității proiectate și creșterea fiabilității instalațiilor. Produsele pot corespunde scopului dacă performanțele lor se încadrează între limitele de toleranțe specificate în documentația tehnologică. Pe baza limitelor de toleranță se stabilește domeniul de acceptare. Calitatea produselor controlate corespunde proiectului dacă performanțele produselor cad în interiorul domeniului de acceptare. Capacitatea produsului de a-și încadra vectorul performanțelor în interiorul domeniului de acceptare se numește conformitatea produsului. Pentru a exprima calitatea unui produs pe baza conformității sale este necesar să se determine performanțele acestuia și apoi se selec-

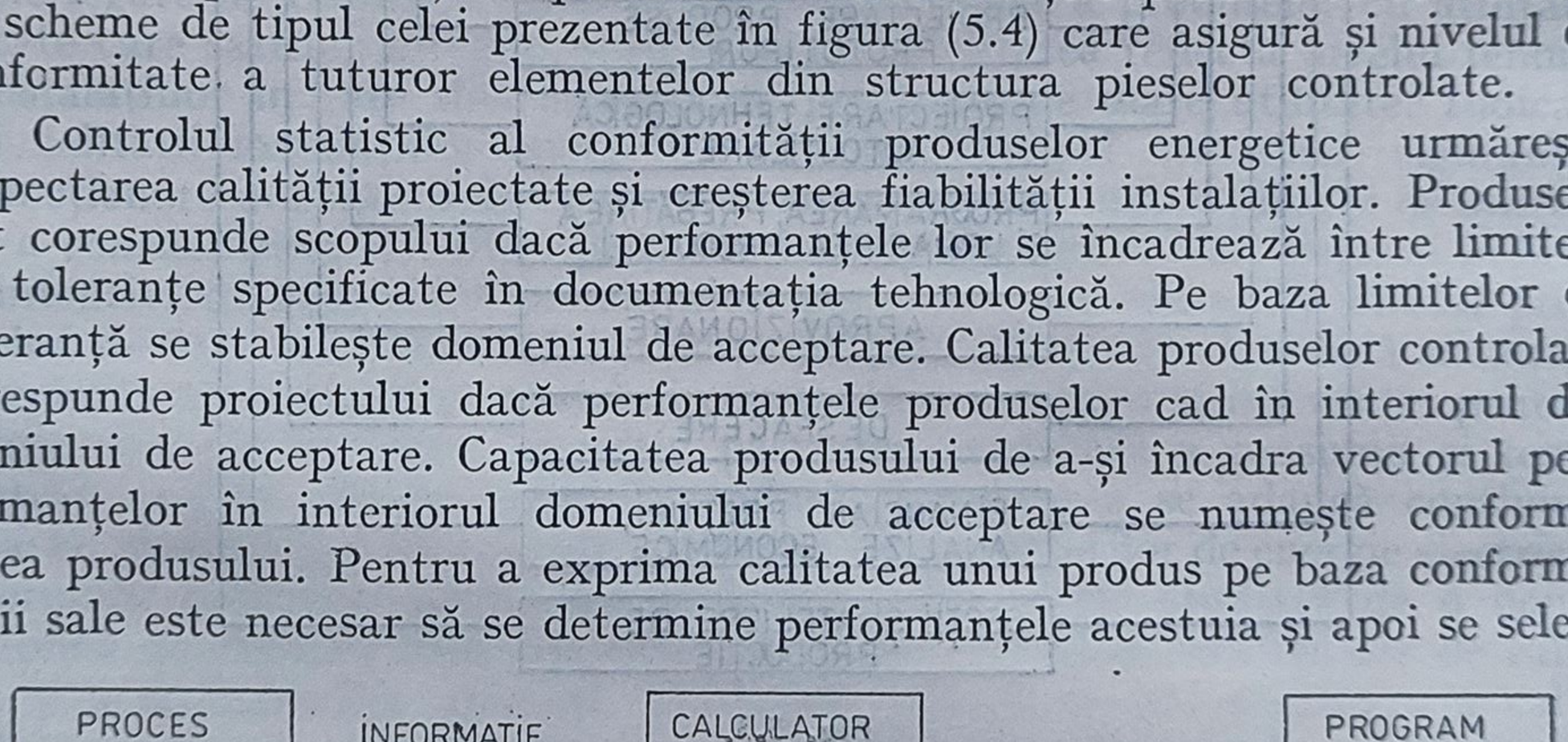


Fig. 5.4.
SCHEMA SISTEMULUI DE CONTROL HIBRID.

tează produsele în funcție de un criteriu de importanță. Calitatea produselor privită în evoluția ei temporară poartă denumirea de fiabilitate. Eficiența unor produse și instalații în exploatare depinde atît de conformitate-fiabilitate cît și mentenabilitate adică de capacitatea produselor de a fi diagnozate tehnic, verificate, recondiționate și reînnoite la momentul potrivit. La acestea se mai adaugă caracteristicile procesului de întreținere (resurse, service etc.) care definesc disponibilitatea produselor și instalațiilor.

Indicatorii de conformitate ai produselor și instalațiilor sînt: numărul de defective (majore, minore, critice) și ponderea produselor afectate în raport cu numărul total de produse fabricate (N_a; $p = N_a(N)$); media și dispersia performanței; valorile riscurilor de gradul I și gradul II. Estimarea și verificarea indicatorilor de conformitate se face pe bază de măsurători aplicate asupra unui eșantion relativ reprezentativ de produse. Caracterul aleator al produselor extrase dintr-o colectivitate dată (N) se asigură pe baza unui tabel de numere aleatoare generate prin simularea Monte-Carlo dacă fiecare produs a fost în prealabil numerotat. Pe baza datelor experimentale se poate construi estimația punctuală a unui indicator. Valoarea sa se apropie cu atît mai mult de adevăr cu cît eșantionul este mai mare. Dacă media estimației punctuale coincide cu valoarea adevărată a indicatorului atunci estimația este nedeplasată. Construirea estimației punctuale pe baza datelor experimentale se face cu metoda verosimilității maxime. Astfel se arată că estimația care redă valoarea indicatorului maximizează probabilitatea apariției datelor reale. Dacă se dorește o apropiere a estimației punctuale de valoarea indicatorului de conformitate se recurge la estimația cu interval de încredere. Astfel se determină pe baza datelor experimentale două limite între care se găsește valoarea adevărată a indicatorului (θ) cu o probabilitate dată ($1-r$) numită nivel de încredere. $[P(\theta_{inf} < \theta < \theta_{sup})] = (1-r)$. Precizia acestei metode crește odată cu mărirea eșantionului examinat și este dată de distanța dintre ecartul intervalului de încredere și valoarea adevărată a indicatorului. Un punct de vedere mai larg privitor la problema evaluării indicatorilor de conformitate este acela al încadrării lor într-o zonă acceptabilă și nu localizarea lor punctuală pe un interval de încredere. Acest punct de vedere se sprijină pe teoria verificării ipotezelor statistice. Conform acestei teorii se formulează o ipoteză (H_0) asupra unui indicator de conformitate (θ) numită ipoteză nulă privind apartenența indicatorului analizat unui domeniu (D_A). În același timp se formulează ipoteza (H_1) privind apartenența aceluiași indicator altui domeniu (D_R). Adoptarea unei ipoteze dintre (H_0 și H_1) se face supunînd datele experimentale unui anumit criteriu de decizie. În spațiul datelor experimentale se definesc domeniile de acceptare (D_A) și de respingere (D_R). Dacă vectorul datelor experimentale (x) aparține lui (D_A) atunci se acceptă ipoteza nulă (H_0) iar în cazul ($x \in D_R$) se acceptă ipoteza alternativă (H_1). Dacă reuniunea (D_A și D_R) nu acoperă spațiul rezultatelor experimentale atunci pentru a formula o decizie se mărește eșantionul examinat. Criteriul de decizie care delimitează domeniile (D_A; D_R) este determinat de nivelul prestabilit al erorilor asociate verificării ipotezelor. Există două tipuri de erori și anume: erori de ordinul I care resping ipoteza (H_0) și erori de ordinul II care permit acceptarea lui (H_0) deși ea este falsă.

Probabilităţile acestor erori—denumite riscuri se calculează astfel:

$$\alpha = P(x \in D_A \mid \theta \in D_R)$$
$$\beta = P(x \in D_A \mid \theta \in D_R) \qquad (5\text{-}6)$$

Impunînd valorile riscurilor se calculează elementele criteriului de decizie şi volumul eşantionului în baza cărora se trag concluzii asupra indicatorilor de conformitate. Conformitatea unui produs ($\bar{p}$); performanţa medie a produsului examinat ($\bar{\mu}$) şi abaterea medie pătratică se determină astfel:

$$\bar{p} = \frac{d}{n};\ \bar{\mu} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_0 = \bar{x};\ \sigma^2 = \frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = s^2; \qquad (5.7)$$

în care: d = numărul de produse defecte din volumul (n) al eşantionului examinat. x_i = valorile măsurate ale performanţelor produsului cercetat. Lotul respectiv volumul (n) supus controlului statistic de calitate trebuie să aibă o omogenitate ridicată pentru a preveni compromiterea acţiunii de asigurare a conformităţii. Scopul controlului statistic constă în discriminarea loturilor cu nivel acceptabil de conformitate şi a acelora cu nivel de conformitate inadmisibil de coborît.

Controlul calităţii produselor se verifică pe baza planurilor de control atributiv aplicate fie la recepţie fie pe parcursul realizării produselor. Deosebim plan simplu de control; plan dublu de control şi plan multiplu de control. Calitatea unui plan de control se apreciază după capacitatea acestuia de-a discrimina loturile corespunzătoare de cele cu defecte. Această proprietate se exprimă printr-o funcţie de legătură a probabilităţii de acceptare de nivelul de conformitate al lotului numită caracteristică operativă. Pentru aprecierea calităţii unor produse omogene se recurge doar la determinarea a trei puncte ale caracteristicii operative şi anume: nivelul de conformitate (p_1) numit şi protecţia producătorului căruia îi corespunde probabilitatea de acceptare ($1-\alpha$). Acest punct impus apriori poate diferi de nivelul acceptabil al conformităţii (NAC) din cauza rotunjirii numărului de acceptare. Interesul producătorului urmăreşte ca (p_1) să fie mai mare ca nivelul acceptabil al conformităţii (NAC). Al doilea punct al caracteristicii operative denumit protecţia beneficiarului este determinat de probabilitatea de acceptare (β) căreia îi corespunde nivelul de conformitate (p_2). Întrucît beneficiarul are în vedere un nivel limită al conformităţii (LC) dincolo de care nu acceptă nici un lot atunci se compară (LC) cu (p_2) şi dacă ($LC \geqslant p_2$) beneficiarul va accepta cel mult o fracţiune egală cu (β) din loturile necorespunzătoare fabricate de producător. Al treilea punct al caracteristicii operative este nivelul critic de conformitate corespunzător unei probabilităţi de acceptare 0,5. Deci un plan de control este cu atît mai discriminativ cu cît protecţia producătorului (p_1) este mai mare iar protecţia beneficiarului (p_2) este mai mică.

Conţinutul planurilor de control se stabileşte calculînd volumul eşantionului ce trebuie prelevat pentru cercetare, determinarea criteriului de acceptare a lotului, delimitarea domeniilor de acceptare (D_A) şi respingere (D_R), calcularea riscurilor de rang I şi II, stabilirea punctelor principale ale caracteristicii operative şi delimitarea zonelor de acceptare respectiv respingere a loturilor controlare. În controlul atributiv rezultatele măsurărilor se

pot sintetiza într-un număr de defecte ($d \geqslant 0$; $d \leqslant n$) care delimitează spațiile (D_A și D_R) de acceptare și respectiv respingere a loturilor. Domeniul de acceptare cuprinde valorile lui (d) mai mici sau egale cu un număr de acceptare (A) iar cel de respingere cuprinde valorile lui (d) mai mari sau egale cu numărul de respingere ($R = A + 1$). Pentru calculul riscurilor I și II în cazul planului simplu de control se utilizează relațiile:

$$I)\ \alpha = P(d \geqslant R) \mid p = p_1); \qquad II)\ \beta = P(d \leqslant A \mid p = p_2); \tag{5-8}$$

Riscul I reprezintă probabilitatea respingerii unui lot acceptabil iar riscul II redă probabilitatea acceptării unui lot necorespunzător. Valorile tipice impuse riscurilor sînt $\alpha = 5\%$ iar $\beta = 10\%$. Pentru determinarea elementelor planului simplu de control se calculează distribuția numărului de piese defecte pe eșantion care este o variabilă aleatoare discretă ce respectă distribuția hipergeometrică. Dacă se repune în lot fiecare element înainte de extragerea elementului următor atunci distribuția numărului de produse defecte este binomială. Distribuția binomială aproximează suficient de bine pe cea hipergeometrică dacă volumul eșantionului nu depășește a zecea parte din volumul lotului ($n \leqslant 0{,}1N$). Dacă eșantionul examinat este mai mare ca 30 elemente iar proporția reală de piese defecte nu depășește 10% atunci distribuția binomială este suficient aproximată de distribuția Poisson. Relațiile de calcul ale distribuțiilor hipergeometrice $P_h(d)$; binomială $P_b(d)$; poissoniană $P_p(d)$ și elementele planului simplu de control se determină cu relații de forma:

$$P_h(d) = \frac{C_D^d \cdot C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n}; \quad P_b(d) = C_n^d p^d (1-p)^{n-d}; \quad P_p(d) = \frac{(np)^d}{d!} e^{np}$$
$$\alpha = \sum_{d=R}^{n} P(d \mid p = p_1); \quad \beta = \sum_{d=0}^{A} P(d \mid p_1 = p_2); \quad P_a(p) = \sum_{p=0}^{A} P(d(p); \tag{5-9}$$

Dacă se înlocuiesc în relațiile pentru calculul riscului I și II mărimile $P(d/p)$ cu una din probabilitățile hipergeometrică; binomială respectiv poissoniană se obțin ecuațiile:

$$\sum_{d=0}^{A} \frac{(np_1)^d}{d!} e^{-np_1} = (1-\alpha); \quad \sum_{d=0}^{A} \frac{(np_2)^d}{d!} e^{-np_2} = \beta; \tag{5-10}$$

Prin rezolvarea acestor ecuații se determină volumul eșantionului (n) și numărul de acceptare (A) ca elemente de bază ale planului simplu de control atributiv. Prin $P_a(p)$ s-a notat caracteristica operativă a planului simplu de control. În cazul planului dublu de control se operează cu aceleași relații dar cu două eșantioane egale și două criterii de acceptare respectiv respingere pentru fiecare eșantion. Dacă ($d_1 < A_1$) lotul se acceptă iar dacă ($d_1 > R_1$) lotul se respinge fără a se face vreun control suplimentar. Dacă $A_1 > d_1 > R_1$ se extrage al doilea eșantion și se operează cu ($d_1 + d_2$) și cu $R_2 = A_2 + 1$. Planul dublu de control se aplică la controlul loturilor care sînt sau foarte bune sau foarte proaste ceea ce duce la un volum de muncă rațional și la o decizie economicoasă. Planul multiplu de control se aseamănă cu planul dublu de control dar decizia se construiește parcurgîndu-se șapte etape de control.

Îndeplinirea criteriului de acceptare se verifică la extragerea fiecărui element. Dacă planul multiplu de control conține un număr foarte mare de eșantioane de volum egal atunci devine un plan secvențial sau progresiv. Stabilirea frontierelor de delimitare a domeniilor de acceptare, de respingere și de indecizie în cazul planului multiplu se face cu lema Nayman-Pearson care arată că decizia se construiește în funcție de valoarea raportului de plauzabilitate $(P(d/p_2) \mid P(d \mid P_1))$. Lotul se acceptă dacă valoarea raportului de plauzabilitate este mai mică sau egală cu valoarea (A). Lotul se respinge dacă valoarea raportului de plauzabilitate este mai mare ca (B). Dacă valoarea raportului de plauzabilitate este cuprins între (A și B) se continuă extragerea pînă ce se poate lua o decizie. Valorile lui A și B se determină astfel:

$$\beta \leqslant A(1-\alpha); \quad B \leqslant (1-\beta)\,\alpha \tag{5-11}$$

Condițiile de acceptare și respectiv respingere a loturilor într-un control secvențial la care distribuția rezultatelor experimentale respectă relația $P(d/p) = p^d(1-p)^{n-d}$ au forma:

$$\left[\frac{p_2}{p_1}\right]^d \cdot \left[\frac{1-p_2}{1-p_1}\right]^{n-d} \leqslant \frac{\beta}{1-\alpha} \tag{5-12}$$

$$\left[\frac{p_2}{p_1}\right]^d \cdot \left[\frac{1-p_2}{1-p_1}\right]^{n-d} \geqslant \frac{1-\beta}{\alpha} \tag{5-13}$$

Planul secvențial oferă cea mai mare economie la controlul loturilor de calitate extremă: foarte bună sau necorespunzătoare.

Scopul controlului la recepție este acela ca numărul de produse defecte care ajunge la beneficiar să fie cît mai mic. Proporția medie de defecte a unui lot recepționat este o caracteristică esențială a planului de control denumită calitate medie la ieșire $[CME = p \cdot P_a(p)]$. Dacă se controlează (k_i) loturi avînd calitățile (p_i) și nu se omite nici o bucată atunci calitatea medie la ieșire se calculează astfel:

$$CME_1 = \frac{\sum_i k_i p_i P_a(p_i)}{\sum_i k_i}; \quad CME_2 = \frac{\sum_i k_i p_i P_a(p_i)}{\sum_i P_a(p_i)}; \tag{5-14}$$

Se observă că $(CME_2) > (CME_1)$ cînd se recuperează loturile respinse ceea ce demonstrează că prin control se îmbunătățește calitatea produselor. Calitatea medie la ieșire pentru două loturi omogene cu nivele de conformitate (p_1) și (p_2) și riscurile $(1-\alpha)\,p_1$; βp_2 se prezintă astfel:

$$(1-\alpha)\,p_1 > \beta p_2; \quad p_1 < p_2; \quad (1-\alpha) \geqslant \beta. \tag{5-15}$$

Rezultă că proporția de defective ajunse la beneficiar este mai mică în cazul loturilor necorespunzătoare verificate 100% decît în cazul unor loturi de conformitate acceptabilă supuse unui control prin sondaj. Acest adevăr trebuie coroborat cu dorința beneficiarului de-a avea o aprovizionare cu produse de calitate fără întîrzieri provocate de control.

Întrucît elaborarea planurilor de control reclamă rezolvarea prin încercări a modelelor de risc I și II (ceea ce complică strategia de control operativ) s-a trecut la aplicarea în practică a controlului prin atribute a produselor pe baza concepției cuprinsă în standard STAS — 3160/72. Conform acestei orientări planul simplu de control se elaborează plecînd de la ecuația riscului producătorului ($1-\alpha$) care permite determinarea numărului de acceptare iar volumul eșantionului se alege în funcție de cele șapte nivele de control. Pentru fiecare volum de lot și nivel de control asociat se găsește în STAS volumul eșantionului codificat printr-o literă care simbolizează eșantioanele pentru cele trei tipuri de control: simplu, dublu și multiplu. Din combinarea literei de cod cu nivelul de calitate acceptabil se determină elementele planurilor de control (simplu, dublu, multiplu) și caracteristica operativă comună pentru toate planurile de control căutate. Pe baza unui tabel separat din acest STAS se deduce calitatea medie la ieșire pentru fiecare plan de control. Deci alegerea planului de control se face în funcție de nivelul de control și nivelul de calitate acceptabil. Mărirea nivelului de control și micșorarea nivelului de calitate duce la îmbunătățirea caracteristicii operative în sensul micșorării cheltuielilor de control cu condiția oferirii unor protecții corespunzătoare atît pentru beneficiar cît și pentru producător. Teoria și practica controlului de calitate arată că nivelul de control se stabilește relativ ușor ținînd seama de restricțiile economice și de protecțiile avute în vedere pentru beneficiar și producător.

Stabilirea nivelului acceptabil de calitate este dificilă din cauza intereselor contradictorii ale celor ce produc și a celor ce beneficiază de produse și resurse. Producătorul deși optează pentru un nivel mediu mai ridicat al calității decît nivelul real de conformitate al produselor sale trebuie să țină seama de legea calității care impune luarea în considerație a daunelor provocate la beneficiar de produsele defecte trecute de control. Deci producătorul răspunzînd și material față de prejudiciile aduse beneficiarului nu este interesat să impună o proporție acceptabilă prea mare de defective. Beneficiarul impune nivelul de calitate limită prin micșorarea numărului de defective din loturile sosite pentru control și acceptă acele loturi care respectă probabilitatea β. Mai mult el este interesat să impună o calitate medie la ieșire care să nu ducă nici la respingerea tuturor loturilor dar nici la întîrzierea aprovizionării în faza de control pentru a nu-și periclita desfășurarea procesului de producție. Pentru a ușura rezolvarea acestei probleme standardul recomandă folosirea seriei geometrice Renart la alegerea nivelului mediu limită a calității de la (0,1%) la (10%) iar pentru nivelul de conformitate care indică proporția de defective în lot de la (15%) la (100%). Valorile mari se acceptă pentru defecte minore iar cele mici pentru defecte majore. Dacă în lot apar defecte critice nu se recomandă efectuarea controlului prin sondaj. Dacă un singur produs din lotul controlat bucată cu bucată prezintă un defect critic lotul se respinge pe motiv că și celelalte produse pot avea defecte ascunse și pot provoca pagube mari beneficiarului.

Controlul de recepție prin măsurare are la bază aceleași principii ca și controlul atributiv dar se deosebește de acesta prin modul de prelucrare a datelor experimentale obținute la măsurarea eșantionului. Planul de control face apel la proporția de defective și la media și dispersia caracteristicii

măsurabile. Dacă caracteristica măsurabilă se încadrează într-o distribuție normală și i se asociază limita superioară de toleranțe (T_s) atunci se calculează $Q_s = (T_s - \bar{x})/s$ și se compară cu limita (k) dată de riscul producătorului. Controlul de recepție prin măsurare are avantajul că operează cu volume de eșantioane mult mai mici decît în controlul atributiv fapt explicabil prin volumul mare de informații înregistrat la măsurarea eșantionului.

Un alt tip de control mai mult activ decît constatativ este controlul în timpul fabricației care urmărește prevenirea producerii de elemente defecte. Acest control corectează din mers tendințele de degradare a procesului de fabricație. Procesul poate fi declarat stabil sub raport statistic cînd caracteristica sa este o variabilă aleatoare distribuită după legea normală iar media (m) și dispersia (σ) își păstrează în timp valorile inițiale (m_0; σ_0). Dacă se modifică numai media iar dispersia rămîne constantă se spune că procesul s-a dereglat. Cînd media rămîne constantă iar dispersia a crescut față de valoarea sa inițială se spune că procesul s-a uzat. Dereglajul (d_r) și uzura (U_z) se determină astfel:

$$d_r = \left(\frac{m - m_0}{\sigma_0}\right); \quad U_z = (\sigma \,|\, \sigma_0) \tag{5-16}$$

Pentru verificarea reglajului se apelează la modificarea mediei aritmetice a valorilor unui eșantion care pentru o distribuție normală și pentru un eșantion de (n) elemente are aceeași medie (m) și dispersia ($\sigma \,|\, \sqrt{n}$). Procesul se declară dereglat pe baza valorii medii aritmetice mărite față de valoarea inițială impusă de riscul I. Dacă se notează limitele de încadrare a mediei aritmetice prin (L_i și L_s) și se impun pentru $\alpha = 2\%$ atunci se obțin următoarele relații de calcul pentru limitele de control:

$$L_{ci} = \left(m_0 - 3{,}09\,\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}\right); \quad L_{cs} = \left(m_0 + 3{,}09\,\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}\right); \tag{5-17}$$

Pentru ca dereglajul să nu fie detectat tardiv se acceptă pentru $\alpha = 5\%$ și se calculează limitele de supraveghere cu relațiile:

$$L_{si} = m_0 - 1{,}96\,(\sigma_0 \,|\, \sqrt{n}); \quad L_{ss} = m_0 + 1{,}96\,(\sigma_0 \,|\, \sqrt{n}); \tag{5-18}$$

Aceste limite se reprezintă pe diagrama fișei medii care însoțește documentația de centrol. În această fișă se trec valorile mediei și ale dispersiei. Dacă una din medii depășește valoarea precalculată se oprește producția și se reglează procesul simultan cu controlul produselor fabricate. Pe baza caracteristicii operative $P_a(p)$ se determină sensibilitatea metodei de verificare a dereglajului. Această sensibilitate crește cu cît volumul eșantionului este mai mare. Cel mai sensibil mod practic de urmărire a dispersiei constă în determinarea amplitudinii care redă diferența dintre valorile extreme ale eșantionului. Pentru procese în desfășurare este necesar să se determine în prealabil media și dispersia pe baza cărora se calculează limitele de control și de supraveghere în scopul prevenirii dereglajului și a micșorării numărului de defective la nivelul produselor fabricate. Pentru calculul mediei și dispersiei se preiau din proces un număr de elemente (n) pe o anumită durată în care pro-

cesul trebuie să fie stabil în caz contrar rezultatul poate fi serios viciat. Indicatorul statistic al stabilității este numărul de defecte dintr-un eșantion. Verificarea stabilității prin metode ale controlului statistic reclamă calcularea mediei și a dispersiei și precizarea limitelor de control și de supraveghere. În controlul atributiv aceste limite se determină pe baza distribuțiilor hipergeometrică, binomială, poisson pornind de la $\alpha = 2\%$ în cazul eșantioanelor normale. Pentru eșantioane mari cu peste 30 elemente se utilizează distribuția asimptotică a numărului de defecte care este normală cu media (np_0) și dispersia $np_0(1-p)^{1/2}$ cu nivelul de conformitate (p_0) impus. Limitele de control (L_{cs}) și supraveghere (L_{ss}) în acest caz se calculează astfel:

$$L_{cs} = [n \cdot p + 3\sqrt{np(1-\bar{p})}]; \quad \bar{p} = \frac{1}{kn}\sum_i d_i; \qquad (5\text{-}19)$$
$$L_{ss} = [n \cdot p + 2\sqrt{n \cdot p(1-\bar{p})}$$

în care: n = volumul eșantionului; k = numărul de eșantioane; d_i = numărul de defective din lot; p = nivelul inițial de conformitate cu media $(\bar{p})$.

Stabilitatea procesului este legată de uzura utilajelor, și poate fi perturbată de defectările timpurii ale produselor în funcțiune. În evoluția ratei de defectare a unor piese ale utilajelor în funcțiune apar trei faze și anume: faza rodajului; faza utilă de funcționare și faza de îmbătrînire. Faza utilă de funcționare denumită și perioada uzurii nule se poate modela cu legea exponențială de repartiție care afișează o rată de defectare constantă. Perioadele de rodaj și îmbătrînire se pot modela cu ajutorul legii de repartiție Weibul alegînd pentru (β) valori mai mici, respectiv mai mari ca unitatea.

Modelarea fenomenelor de defectare constă în selectarea unei legi de repartiție și verificarea adecvării ei la un anumit produs prin confruntare cu rezultatele experimentale. Procedeul are la bază teoria verificării ipotezelor statistice. În această idee se formulează ipoteza nulă privind natura legii de repartiție a timpului de funcționare și ipoteza alternativă care exclude valabilitatea tipului de lege propus. Decizia se construiește pe baza concordanței dintre funcția exprimată teoretic și cea exprimată cu ajutorul datelor experimentale. Ea poate fi afectată de riscurile I și II astfel: respingerea ipotezei nule cînd aceasta este adevărată, respectiv acceptarea ei, cînd este falsă. Decizia trebuie astfel formulată încît probabilitățile celor două riscuri să nu depășească anumite limite impuse. În acest scop se aplică testul Kolmogorov-Smirnov care presupune cunoașterea momentelor de defectare a tuturor produselor din eșantion și prin care se estimează funcția de repartiție a timpului de funcționare. Pe baza acestui test se arată că ecartul maxim dintre funcția de repartiție $F(t)$ care caracterizează produsul și estimația ei punctuală $[\dot{F}(t)]$ este o variabilă aleatoare a cărei lege de repartiție depinde numai de volumul eșantionului ceea ce înlesnește stabilirea criteriului de decizie. Acest criteriu este dat de cuantila de ordinul $(1 - \alpha)$ care arată că ipoteza se acceptă dacă ecartul maxim $[F(t) - \dot{F}(t)]$ nu depășește cuantila. În practică se trasează grafic varianta $F(t)$ și se construiește $\dot{F}(t)$ după care se măsoară ecartul dintre ele. Dacă acest ecart este mai mic decît $(1 - \alpha)$ ipoteza se acceptă. Tot pe baza graficilor care redau rețelele de probabilități se verifică și legea de tip Weibull. Pentru verificarea legii de repartiție a

fiabilității se mai folosesc testele χ^2; testul binomial ș.a. O ipoteză falsă se poate respinge sigur numai dacă puterea testului este mare ceea ce implică prelucrarea unui set bogat de date experimentale. Estimarea indicatorilor de fiabilitate se poate face fie pe cale parametrică fie pe cale neparametrică așa cum se arată în literatura de specialitate [89]. Utilizînd conceptele de bază ale acestor orientări se poate construi strategia controlului statistic al fiabilității produselor și instalațiilor. Micșorarea costului de control al fiabilității produselor și instalațiilor se face prin verificarea posibilității ca fiabilitatea să se situeze deasupra unei limite acceptabile renunțîndu-se la localizarea precisă a nivelului de fiabilitate. Verificarea nivelului de fiabilitate se face prin metodele controlului conformității produselor. Această operație reclamă construirea și aplicarea planurilor indicatorilor de fiabilitate în anumite limite. Elementele planului de control sînt: criteriul de decizie, volumul eșantionului, durata și numărul defectărilor. Limita de acceptare (L) a ratei de defectare (λ_1) cînd se recurge la cantila repartiției (χ^2) se determină astfel:

$$L = \frac{2\lambda_1(r-1)}{\chi^2_\alpha(2r)}; \quad \begin{matrix} P(\lambda > L/\lambda = \lambda_1) = \alpha \\ P(\lambda < L/\lambda = \lambda_2) = \beta \end{matrix} \qquad (5\text{-}20)$$

în care: r = numărul de defectări (după care încercarea se încheie) determinat din condiția ca riscurile I și II asociate criteriului de decizie să nu depășească valorile α și β stabilite inițial.

Capacitatea de discriminare a unui plan de control al fiabilității este descrisă de caracteristica sa operativă. În controlul fiabilității nu se pot aplica planuri duble și multiple dar se aplică planurile secvențiale. Criteriul de decizie în aceste cazuri se deduce plecînd de la lema Neyman-Pearson pe baza raportului de plauzibilitate și are următoarea structură matematică

$$\frac{P(r/\lambda_1)}{P(r/\lambda_1)} < A = \frac{\beta}{1-\alpha} = \text{acceptare}; \quad \frac{P(r/\lambda_2)}{P(r/\lambda_1)} > B = \frac{1-\beta}{\alpha} = \text{respingere} \qquad (5.21)$$

Prevenirea instabilității proceselor în ideea micșorării numărului de defective este legată de mentenabilitatea produselor și instalațiilor în funcțiune. Studiul acestor probleme reclamă analizarea structurilor decompozabile (structuri simple de instalație conectate în serie-paralel) și a structurilor nedecompozabile (conexiunile în puncte, cele în triunghi, în stea etc.). Conexiunile decompozabile se rezolvă pe baza modelelor structurale care permit calculul fiabilității și mentenabilității atît pe elemente componente cît și la nivelul întregii instalații. Conexiunile nedecompozabile se abordează cu metoda probabilității totale care operează cu relații de forma:

$$P(S) = \sum_i P(S/H_i) \cdot P(H_i) = R(t) = P(S/i)\, R_i(t) + P(S/\bar{i})\,[1 - R_i(t)] \qquad (5\text{-}22)$$

în care: $P(S)$ = probabilitatea totală a realizării evenimentului (S) condiționată de evenimentul (H_i); $[P(S/i)]$ = probabilitatea ca sistemul să funcționeze corect în ipoteza că blocul (i) funcționează sigur; $P(S/\bar{i})$ = probabilitatea ca sistemul să funcționeze corect în ipoteza că blocul (i) s-a defectat. Stabilitatea proceselor în timp se asigură prin strategiile de reînnoire din

cadrul teoriei echipamentelor și a strategiilor de întreținere și reparații bazate pe teoria stocurilor (stoc zero, stoc de componente, stoc de subansamble). Această interdependență între teoria căutării și a riscului cu aplicațiile din cadrul controlului și teoria echipamentelor inclusiv teoria stocurilor demonstrează caracterul cibernetic al proceselor și reclamă studierea problemelor pe baza concepției sistemice.

Teoriile risc-catastrofă înlesnesc studierea următoarelor probleme: stabilirea condițiilor și frontierelor de trecere a sistemelor dintr-o stare de dezordine într-o stare de ordine. Teoria stărilor de ordine pune bazele cercetărilor fundamentale în probleme de organizare a sistemelor dinamice permițînd studierea ordinii structurale a obiectivelor noi și permite determinarea stărilor punctelor de echilibru în evoluția sistemelor dinamice cu ajutorul ecuațiilor diferențiale cu derivate parțiale care descriu comportarea sistemului cu structură continuă la diverse clase de perturbații. La aceste probleme se mai adaugă:

— Modelarea matematică a dezvoltării în salturi a fenomenelor din cadrul sistemelor dinamice cu polinoame elementare a căror coeficienți denumiți parametri de control descriu comportarea întregului sistem.

— Descrierea calitativă a evoluției și involuției stărilor sistemului supus la mici sau mari perturbații.

— Cuantificarea riscului prin care poate trece sistemul dacă nu se evită punctele de catastrofă.

— Determinarea eficienței sistemului în evoluția sa calitativă și stabilirea efortului necesar pentru îmbunătățirea nivelului său de organizare.

— Aducerea sistemului pe cale lentă sau bruscă în zona de stabilitate și imprimarea în structura sa a conceptului de organizare optimală.

— Teoriile risc-catastrofă se aplică sistemelor care prezintă discontinuitate în comportament. Pe baza lor se modelează comportarea structurilor prin metode calitative ale topologiei diferențiale. Astfel teoria catastrofelor permite modelarea acumulărilor cantitative și a saltului calitativ din cadrul dialecticii. Teoria riscului (ecologic; tehnologic; economic) permite studiul daunelor care apar în comportamentul sistemelor plecînd de la conceptul de utilitate. Ambele teorii risc-catastrofă fac parte dintr-o sferă mai largă a analizei calitative ca preambul al optimizării globale a sistemelor dinamice folosind parametrii de control ai comportamentului sistemelor supuse unor schimbări continue în salturi. Ele se recomandă pentru studiul stabilității sistemelor și a cuantificării pierderilor de stabilitate pe o cale care ocolește dificultățile întîlnite la aplicarea funcțiilor Leapunov.

5.3.2. Aspecte fenomenologice ale teoriilor stocării-așteptării

Funcția de aprovizionare — desfacere din cadrul sistemelor de energie operează în principal cu teoria stocării și teoria așteptării. Teoria stocării sintetizează într-o concepție inginerească organizarea resurselor și permite dimensionarea stocurilor pe cele trei faze principale de proiectare-montaj-exploatare prin care trece sistemul de la concepere la dezafectare. Asigurarea stocurilor se face pe baza studierii aprovizionării cu combustibil și piese de

schimb a sistemelor de energie. Aprovizionarea trebuie să acopere cu resurse integrale cererea, prin intermediul stocurilor. Stocurile se pot clasifica astfel: stocuri de materii prime și energetice, stocuri de produse finite și stocuri de piese de schimb. Primele tipuri de stocuri sînt stocuri în amonte de producție, al doilea tip sînt stocuri în aval de producție, iar al treilea tip îl formează stocurile interoperații (piese de schimb și producție neterminată). Stocurile se mai pot împărți în stocuri curente, stocuri de pregătire și stocuri de siguranță. Stocurile curente se consumă zilnic în procesul de producție și se determină ca suma produselor dintre obiectivele de plan și consumurile specifice normate. Stocurile de pregătire apar în special la nivelul centralelor nuclearo-electrice și se referă la pregătirea uraniului sub forma pilelor de combustibil pentru reactoare nucleare. Stocurile de siguranță denumite și stocuri de rezervă apar în cadrul întreprinderilor energetice (electrocentrale, întreprinderi de rețele electrice, sectoarele energetice din cadrul întreprinderilor industriale) sub forma unor cantități de combustibil în depozit care se folosesc cînd aprovizionarea nu funcționează pe baza prerogativelor proiectate.

Elaborarea unei strategii raționale de gestiune a stocurilor presupune cunoașterea elementelor de bază ale proceselor de stocare și aplicarea acestora în concepție sistemică. Elementele de bază ale unui proces de stocare sînt caracterul cererii, nivelul aprovizionării, tipul și perioada de gestiune, costurile de stocare, aprovizionare și penurie a resurselor și corelația stoc-cerere în vederea evitării ruperii stocurilor, respectiv a formării stocurilor supranormative. Cunoașterea acestor elemente și a legăturilor dintre ele permite stabilirea succesiunii proceselor de aprovizionare și completare a stocurilor în ideea minimizării cheltuielilor totale legate de procurarea resurselor, stocarea acestora și penuria stocurilor. Determinarea unui nivel rațional al stocurilor, care să reclame cheltuieli totale minime, se reduce în cele mai frecvente cazuri la alegerea momentelor raționale de efectuare a comenzii și la determinarea judicioasă a cantităților de aprovizionat, ținînd seama de caracterul cererii. Procesul de stocare are drept scop satisfacerea unei cereri și reflectă caracteristicile acesteia. Cererea poate fi deterministă sau probabilistă. În primul caz este constantă, iar în cel de-al doilea caz cererea se poate considera o variabilă aleatoare cu o distribuție oarecare. Dacă această distribuție este cunoscută și permite realizarea nivelului de cerere cu o anumită probabilitate sub cea dată avem de rezolvat o problemă de gestiune cu risc. Cînd distribuția este necunoscută atunci problema de gestiune trebuie rezolvată în condiții de totală incertitudine. Problemele de gestiune în condiții de incertitudine totală se rezolvă prin construirea legilor de distribuție (care guverenează caracterul incert al cererilor) pe baza datelor statistice culese din proces. Rezolvarea acestor probleme se face cu ajutorul metodei Monte-Carlo. Cererea poate avea caracter staționar sau nestaționar.

Nivelul aprovizionării este legat de valoarea critică a stocurilor din depozit și depinde de sistemul de stocare cu două sau trei depozite. Pentru rezolvarea acestei probleme trebuie să determinăm punctul de comandă, perioada de aprovizionare și reaprovizionare și cantitatea de resurse la o comandă (denumită lot de aprovizionare). Determinarea acestor elemente permite stabilirea unei strategii optime de reaprovizionare.

Tipurile și perioadele de gestiune se clasifică astfel:

a) tipul de gestiune cu perioade egale și cerere constantă;

b) tipul de gestiune cu perioade inegale, cerere constantă și cu posibilitatea ruperii stocului.

c) tipul de gestiune cu cerere variabilă și perioade constante;

d) tipul de gestiune cu cerere variabilă și perioade variabile

Situațiile de gestiune a stocurilor de la punctele (a, b, c, d) se pot urmări pe figura (5.5).

Fiecărui tip de gestiune căruia îi este caracteristic o anumită perioadă îi corespunde o clasă de modele matematice care permite stabilirea soluției

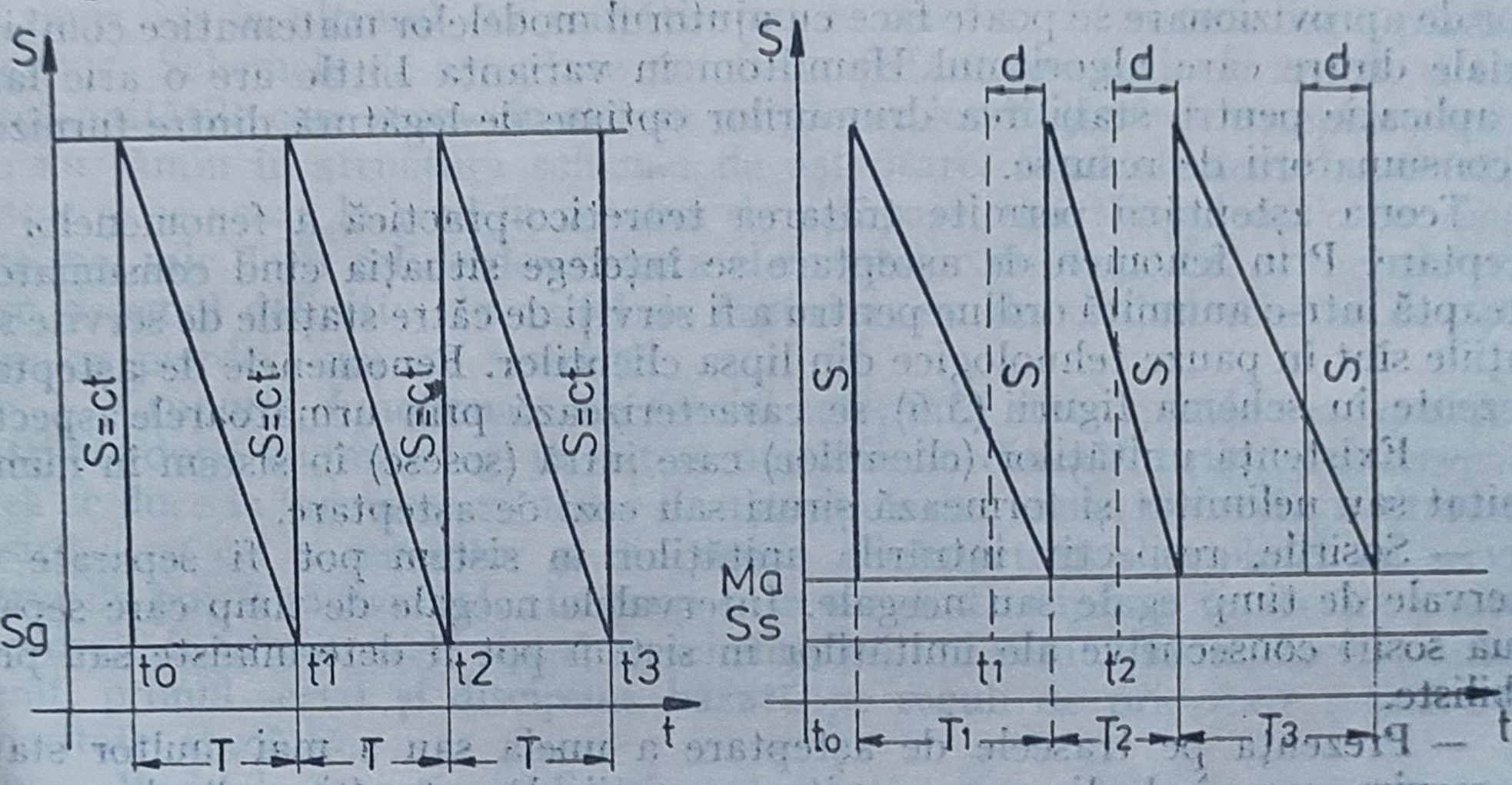


Fig. 5.5.

DIAGRAME DE GESTIUNE A STOCURILOR CU CERERE CONSTANTĂ ȘI VARIABILĂ;

optime atît în privința cantității de resurse dintr-o comandă, a timpului după care trebuie să sosească comenzile la consumatori cît și a numărului de comenzi dintr-o anumită perioadă. În gestiunea stocurilor se operează cu următoarele categorii de costuri: costuri de aprovizionare care cuprind costuri de achiziție a resurselor, costuri pentru stocarea resurselor care au în structura lor o parte constantă și o parte variabilă în funcție de cantitatea de resurse stocată și în funcție de durata stocării și costuri de penurie generate atît de cheltuieli suplimentare de procurare a resurselor în condiții de excepție cît și de penalizările datorită ruperii stocurilor inclusiv cheltuielile pentru refacerea producției nerealizate pe durata penuriei. Reducerea cheltuielilor de aprovizionare se poate face cu ajutorul modelelor matematice combinatoriale dintre care algoritmul Hamiltom în varianta Little are o arie largă de aplicație pentru stabilirea drumurilor optime de legătură dintre furnizorii și consumatorii de resurse.

Teoria așteptării permite tratarea teoretico-practică a fenomenelor de așteptare. Prin fenomen de așteptare se înțelege situația cînd consumatorii așteaptă într-o anumită ordine pentru a fi serviți de către stațiile de servire sau stațiile sînt în pauze tehnologice din lipsa clienților. Fenomenele de așteptare prezente în schema figurii (5.6) se caracterizează prin următoarele aspecte:

— Existența unităților (clienților) care intră (sosesc) în sistem în număr limitat sau nelimitat și formează șiruri sau cozi de așteptare.

— Sosirile, respectiv intrările unităților în sistem pot fi separate de intervale de timp egale sau neegale. Intervalele neegale de timp care separă două sosiri consecutive ale unităților în sistem pot fi deterministe sau probabiliste.

— Prezența pe traseele de așteptare a uneia sau a mai multor stații de servire care îndeplinesc anumite prestații. Durata (timpul) de servire

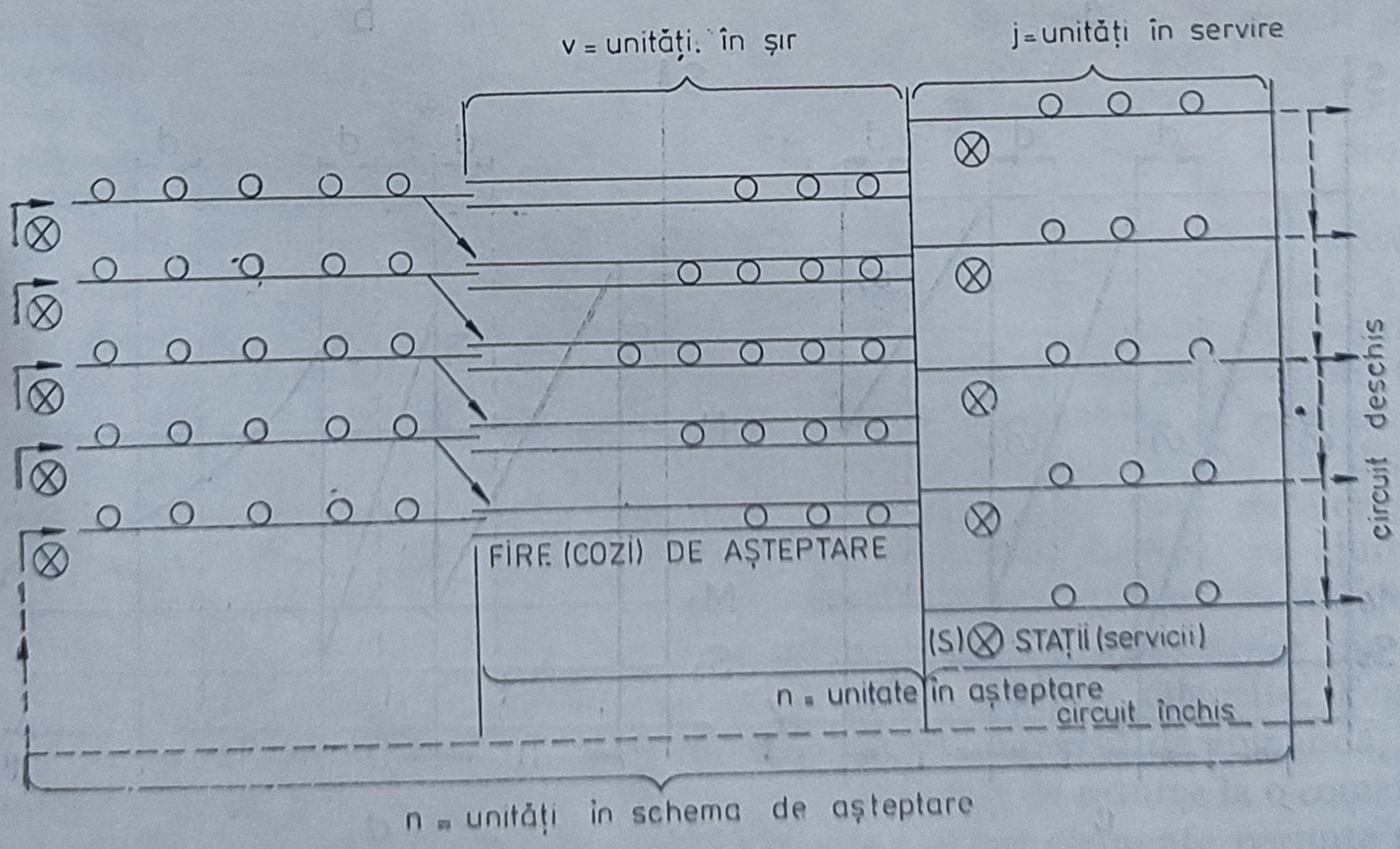


Fig. 5.6.

SCHEMĂ DE AȘTEPTARE CU MAI MULTE FIRE ȘI STAȚII DE SERVIRE.

poate fi constantă sau variabilă. Durata variabilă poate avea caracter determinist sau probabilist. Atît duratele care separă două sosiri cît și timpii de servire probabilistă se studiază și se determină pentru două situații și anume: pentru cazul de risc — cînd probabilitățile sînt cunoscute și nu se pot realiza la nivelul precalculat și pentru cazul de incertitudine cînd probabilitățile nu se cunosc și trebuie determinate pentru fiecare situație în parte.

— Structura schemelor de așteptare cuprinde: fire paralele de așteptare, stații de servire montate în serie, în paralel sau în cascadă. Schemele de așteptare pot fi cu circuit închis sau circuit deschis. În primul caz unitățile care părăsesc sistemul se întorc la punctul de intrare după un anumit interval de timp, iar în ultimul caz unitățile nu se reîntorc în sistem după părăsirea acestuia. Schemele de așteptare pot fi cu și fără restricții de spațiu și timp. Dacă unitățile care sosesc în sistem nu găsesc loc în șirul de așteptare, atunci ele nu rămîn în structura schemei de așteptare. Cînd elementele (unitățile) sosesc și se așază la rînd în schema de aștepare, dar timpul de care dispun este mai mic decît cel de deservire a elementelor din fața lor, atunci ele părăsesc sistemul definitiv. În astfel de cazuri avem de studiat scheme de așteptare cu pierderi sau cu restricții.

— Grupurile funcționale ale teoriei așteptării sînt: sursele care generează și trimit după anumite legi în sistem unitățile, ordinea sosirilor și a servirilor, ceea ce duce la formarea șirurilor de așteptare din cauza necorelării ritmurilor sosirilor cu cel a servirilor și din cauza nerespectării disciplinei de servire. Servirile pot fi individuale, în grup și în masă. Disciplina de servire poate fi încadrată în următoarele tipuri de scheme, primul venit, primul servit; ultimul venit, primul servit și disciplina bazată pe reguli de prioritate relativă sau prioritate absolută.

— Modelele teoretico-aplicative ale teoriei așteptării pot fi deterministe sau probabiliste. Modelele deterministe sînt cazuri la limită a celor probabiliste, cînd valoarea probabilităților este egală cu unitatea. Modelele se construiesc pentru diverse situații practice și anume: o stație de servire și un fir de așteptare, două sau mai multe stații în paralel și mai multe șiruri de așteptare, mai multe stații de servire așezate fie în cascadă, fie în schema serie-paralel și unități finite respectiv infinite așezate în șiruri paralele de așteptare. Indiferent de situațiile ce pot apărea într-o schemă de așteptare modelele se construiesc atît pentru regimul permanent cît și mai ales pentru regimul nepermanent al sistemului analizat. Regimul studiat poate avea caracter staționar sau caracter nestaționar. Modelele de așteptare pot avea caracter discret, caracter continuu sau caracter hibrid în funcție de caracterul variabilelor. Pentru regimurile nepermanente de așteptare se recomandă [20] simularea fenomenelor reale și găsirea celei mai raționale scheme de servire în masă, fie cu ajutorul metodei Monte-Carlo, și metodei Flash fie cu ajutorul unor aparate și scheme fizice, care permit aplicarea teoriei cazurilor la analiza și soluționarea fenomenelor de așteptare. Metoda Flash permite înlocuirea observării continue cu o observare discontinuă și înlesnește modelarea fenomenelor de așteptare pe baza datelor obținute prin observații făcute instantaneu cu intermitență. Modelele de aștepare comportă o funcție de eficiență și un set de restricții. Funcția de eficiență poate fi mono sau multivariabilă iar restricțiile pot fi de tip egalitate sau de tip inegalitate.

Funcția de eficiență, respectiv restricțiile pot fi liniare sau neliniare. Modelul poate fi construit cu una sau mai multe funcții de eficiență. Cînd există mai multe funcții de eficiență se construiește o funcție sinteză ca suma ponderată a funcțiilor de eficiență a modelului și se rezolvă problema cu ajutorul programării scop.

— Legile ce guvernează sosirile, servirile și intervalul dintre ele sînt în cele mai frecvente situații de tip Poisson, de tip Erlang, de tip exponențial și de tipul celor care se încadrează în legea numerelor mari. Probabilitățile din cadrul modelelor de variabilă discretă și cele de variabilă continuă se pot urmări în tabelele (5-1) și (5-2).

TABELUL 5.1

Funcții de repartiții discrete

Nr. crt.	Denumirea funcției	Probabilitatea	Valoarea medie	Dispersia
1	Repartiția Poisson	$\sum_{m=\gamma}^{\infty} \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}$	—	λ
2	Repartiția Poisson complement	$\left[1 - \sum_{m=\gamma}^{\infty} \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}\right]$	$1-\lambda$	$1-\lambda$
3	Repartiția binominală	$\sum_{m=0}^{1} C_M^m p^m q^{M-m} =$ $= C_M^m \left[\frac{\lambda}{\lambda+M}\right]^m \left[\frac{M}{\lambda+\mu}\right]^{M-m}$	$M \cdot p$	$M_p \cdot q$
4	Repartiția binominală complementară	$1 - \sum_{m=0}^{1} C_\mu^m p^m q^{n-m}$	$1-np$	$1-npq$
5	Repartiția Pascal	$\frac{n!}{m!\,(n-m)!} \cdot p^r \cdot q^{m-r}$	$2/p$	q^r/p^2
6	Repartiția geometrică	pq^{m-1}	$1/q$	q/p^2
7	Repartiția hipergeometrică	$\frac{C_M^m \cdot C_{N-M}^{n-m}}{C_N^n}$	$n\frac{M}{N}$	$\frac{M(N \cdot M)(N-m)n}{N^2[N-1]}$

Mărimile din relațiile tabelului 5.1, au următoarea semnificație: m = *numărul experiențelor*; p = *probabilitatea*) $q = 1 - p$; N = *numărul obiectelor supuse experienței*; M = *numărul obiectelor cu anumită probabilitate.*

Aceste relații respectă legea numerelor mari, conform căreia un eveniment supus la(m)încercări, se poate reproduce de (n) ori, deci are o frecvență $f_m = \frac{n}{m}$, *ce tinde spre probabilitatea evenimentului studiat.*

TABELUL 5.2

Funcții de repartiție continue

Nr. crt.	Denumirea funcției	Densitatea de repartiție	Speranța matematică	Dispersia
1	Repartiția uniformă (a, b)	$f(x) = \frac{1}{b-a}$	$0{,}5(a+b)$	$\frac{1}{12}(a-b)^2$
2	Repartiția normală $(-\infty, +\infty)$	$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	a	σ^2
3	Repartiția lognormală $(0, +\infty)$	$f(x) = \frac{1}{x\sigma} - \frac{e^{-\frac{\log(x-a)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}}$	$e^{\frac{2a+\sigma^2}{2}}$	$e^{2a+\sigma^2(e^{\sigma^2}-1)}$
4	Repartiția Weibull $(0, +\infty)$	$f(x) = (\alpha C x^{\alpha-1} - e^{-cx^{\alpha}})$	$\frac{f\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)}{\frac{1}{\alpha}}$	$\frac{f\left(1+\frac{2}{\alpha}\right) - f^2\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)}{2e^{-\alpha}}$
5	Repartiția Gama	$f(x) = \frac{x}{f(\alpha)} \cdot \frac{x^{\sigma-1}}{e^{\beta x}}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{\alpha}{\beta^2}$
6	Repartiția exponențială $(0, +\infty)$	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
7	Repartiția Beta	$f(x) = x^{\alpha-1}(1-x)^{b-1}$	$\frac{a}{a+b}$	$\frac{ab}{(a+b)^2 \cdot (a+b+1)}$
8	Repartiția Student	$f(x) = \frac{(1+0{,}5x^2)^{-\frac{n+1}{2}}}{\left[2^{0,5(h-1)} \cdot f\left(\frac{n}{2}\right)\sqrt{2 \cdot \pi n}\right]}$	0	$\frac{2}{n-4}$

— Situațiile specifice ce trebuie modelate în teoria așteptării din domeniul sistemelor de energie implică cuantificarea unor fenomene energetice care reclamă fie relații integro-diferențiale, fie scheme de simulare pentru determinarea timpului de așteptare. Calea de determinare a timpilor de așteptare cu ajutorul relațiilor integro-diferențiale este utilizată numai pentru situații și scheme de așteptare mai simple. Rezolvarea problemelor de așteptare la nivelul unui nou obiectiv trebuie făcută în concepție sistemică. Această concepție presupune determinarea timpilor de așteptare la nivelul cercetării-

proiectării instalațiilor noi, la nivelul construcții-montaj și la nivelul exploatării noului obiectiv și reclamă luarea în considerație a tuturor factorilor care ar putea genera fenomene de așteptare în sistemul conceput. Aplicațiile practice ale teoriei așteptării se regăsesc sistemic în diverse situații, cum ar fi: ciclul lung (care implică timpi mari de așteptare) între emiterea ideilor noi și aplicarea lor în proiectarea obiectivelor noi, așteptarea ansamblurilor pentru a fi montate sub forma unor obiective industriale (cazane, turbine, centrale, stații, linii, etc.); așteptarea vagoanelor încărcate cu combustibil solid sau lichid pentru a intra pe rampa de descărcare a centralelor etc.

Pe baza teoriei așteptărilor se rezolvă o serie de probleme legate de aprovizionare cu combustibil și piese de schimb a unităților industriale (șantiere de montaj, unități în exploatare, institute de cercetări și proiectări) evitîndu-se mărirea fondurilor pentru achiziția materialelor sau pentru prestări de servicii. O problemă în teoria așteptării constă în planificarea sosirilor unităților în sistem și în stabilizarea numărului de stații de servire astfel încît să se minimizeze suma costurilor generate de așteptarea clienților și de existența stațiilor de servire neocupate. Aceste costuri depind de repartițiile pe care le urmează timpul de așteptare și timpul de servire. Acești timpi depind de parametrii procesului de așteptare și de starea prin care trece sistemul. Parametrii proceselor de așteptare la un regim staționar cînd sosirile sînt poissoniene iar servirile exponențiale negative se pot urmări pe tabelul (5-3).

TABELUL 5.3

Parametrii procesului de așteptare. Regim staționar

Sosiri Poissoniene și servir! exponențiale negative

Elementele fenomenelor de_așteptare	1 o stație sistem închis	2 o stație sistem deschis	3 mai multe stații sistem închis	4 mai multe stații sistem deschis
1. Factorul de serviciu	$\psi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$	$\psi_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$	$\psi_3 = \frac{\lambda_3}{\mu_3}$	$\psi_4 = \frac{\lambda_4}{\mu_3}$
2. Probabilitatea de a exista (n)unități în sistem	$P(n) = \frac{m/\psi^n}{(m-n)} P_0$ m — unități din sistemul închis	$P(n) = \psi^n(1-\psi)$ numărul (m) este necunoscut	$P(n) = \alpha_n P(0)$ numărul total al unităților în sistem (m)	$1 \leqslant n < \delta$ $P(n) = \frac{\psi_n P(0)}{n!}$ $n \geqslant s$ $P_n = \frac{\psi^n P(0)}{s^{n-s} s!}$
3. Probabilitatea de a nu exista așteptare	$P_0 = \left[1 + \sum_1^m \frac{m!\psi^{k-1}}{(m \cdot n)!}\right]$	$P(0) = 1 - \psi$	$P(0) = \left[1 + \sum_{n=1}^{m} \alpha_n\right]$	$P(0) = \left[\frac{\psi^s}{s!\left(1-\frac{\psi}{s}\right)} + \sum_{n=s}^{s-1} \frac{\psi^n}{n!}\right]$

TABELUL 5.3 (continuare)

Elementele fenomenelor de așteptare	1 o stație sistem închis	2 o stație sistem deschis	3 mai multe stații sistem închis	4 mai multe stații sistem deschis
4. Gradul mediu de neocupare a stației	$\overline{\rho}_1 = P(0)$	$\overline{\rho}_2 = P(0)$	$\overline{\rho}_3 = \sum_{n=0}^{s} (s-n)\, p(n)$	$\overline{\rho}_4 = (s - \psi)$
5. Numărul mediu al unităților în sistem	$\overline{m} = m - \frac{(1-p(0))}{\psi}$	$\overline{m} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$\overline{m} = s - \overline{n}_f - \overline{\rho}_3$	$\overline{m} = \left[\psi + \frac{\psi^2}{1!} + \ldots + s\frac{\psi^s}{s!} + \frac{(s+1)\psi^{s+1}}{s!(s-\psi)} + \frac{(s+2)P_0}{s!(s-\psi)^2}\right]$
6. Număul mediu al unităților din firul de așteptare	$\overline{n}_f = m - \frac{1+\psi}{\rho}(1 - p(0))$	$\overline{n}_f = \frac{\psi^2}{1-\psi}$	$n_f = \sum_{n=s+1}^{m} (n - s)\, \rho(n)$	$\overline{n}_f = \frac{P(0)\cdot \psi^{s-1}}{s \cdot s!\left(1-\frac{\psi}{s}\right)^2}$
7. Timpul mediu de așteptare în fir (șir)	$\overline{t}_f = \frac{\overline{n}_f}{\lambda(m-\overline{n}_f)}$	$\overline{t}_f = \frac{\psi}{\mu-\lambda} = \left[\frac{1}{\mu-\lambda} - \frac{1}{\mu}\right]$	$\overline{t}_f = \frac{\overline{n}_f}{\mu(s-\rho_3)}$	$\overline{t}_f = \frac{\psi^s P(0)}{s \cdot s!\left(1-\frac{\psi}{s}\right)^2} \cdot \frac{1}{\mu}$
8. Parametrul de calcul $s = 1$ $s \geqslant 2$ n, m α_n	s = numărul de stații $s = 1$ n = numărul unităților din sistem	$s = 1$ m = numărul unităților din sursă $n = n_{serv} + n_{fir}$	m = numărul unităților din sursă $\alpha_n = \frac{P(n)}{P(0)}$ $\alpha_n = \frac{m-n+1}{n} \cdot A$ $A = \psi \cdot \alpha_n - 1$	$s \geqslant 2$ m = numărul unităților este necunoscut $n = n_{serv.} + n_{fir}$ în sistemul considerat

Prin aplicarea teoriei așteptării și a celorlalte teorii ale cercetării operaționale la cuantificarea fenomenelor se găsește varianta optimă care permite economisirea muncii printr-un efort de gîndire.

5.3.3. Aspecte fenomenologice ale teoriilor echipamente-ordonanțare

Toeriile cercetării operaționale care se aplică la optimizarea funcției de producție sînt: teoria echipamentelor și teoria ordonanțării. Teoria echipamentelor cuprinde o serie de tehnici și modele în ideea rezolvării problemelor, de fiabilitate a instalațiilor, la nivelul proiectării și montajului noilor obiective a menținerii în funcțiune, respectiv a reparării utilajelor în timpul funcționării lor, respectiv a înlocuirii după expirarea duratei de viață economică a fiecărui obiectiv care a fost exploatat în condiții normale de funcționare. Fiabilitatea obiectivelor energetice se definește prin probabilitatea ca instalațiile, utilajele și celelalte elemente ale echipamentelor energetice să-și poată îndeplini fără defectări funcțiile specifice pe o anumită perioadă de timp în condiții restrictive tehnologice și funcționale impuse sistemului de mediu. Astfel spus fiabilitatea instalațiilor energetice este cu atît mai mare cu cît probabilitatea de succes în funcționare fără avarie a obiectivelor proiectate este mai apropiată de unitate. Alte mărimi cu care operează teoria echipamentelor la nivelul proiectării și montajului instalațiilor energetice sînt: mentenabilitatea și disponibilitatea utilajelor și a componentelor acestora. Mentenabilitatea se definește ca aptitudinea unor dispozitive, instalații, utilaje și obiective energetice de-a fi menținute în funcțiune în condiții date de funcționarea respectiv de-a se stabili la nivelul impus de condițiile normale de lucru cînd întreținerea se realizează după o strategie precisă. Disponibilitatea exprimă capacitatea dispozitivelor, instalațiilor, utilajelor și a obiectivelor energetice de-a prelua solicitările sistemului în condiții de fiabilitate și mentenabilitate precalculate. Dacă aceste trei concepte (fiabilitatea, mentenabilitatea și disponibilutatea instalațiilor) sînt studiate încă din faza proiectării obiectivelor energetice și sînt realizate la nivelul parametrilor proiectați, atunci acțiunile de organizare la nivelul sistemului pus în funcțiune se realizează cu efort minim și la nivelul eficienței prevăzute în proiect.

Problemele din teoria echipamentelor care rețin atenția cercetării-proiectării și montajului unor obiective energetice noi dar care se urmăresc și se finalizează în exploatarea instalațiilor sînt cele legate de reînnoirea utilajelor, menținerea lor în funcțiune un timp cît mai îndelungat, repararea acestora preventiv sau corectiv și preluarea avariilor fără afectarea producției neță, marfă și globală a obiectivului studiat. Reînnoirea utilajelor se face plecînd de la studiul ritmurilor de menținere și de aprovizionare cu piese și subansambluri noi care să înlocuiască pe cele uzate. Această tehnică de lucru bazată pe teoria reînnoirii instalațiilor operează cu ecuația lui Voltera [20]. Problema se mai poate rezolva practic pe baza uzurii aleatoare respectiv a uzurii constante a utilajelor, care permite reînnoirea individuală, respectiv în grup a elementelor unui obiectiv preventiv sau corectiv. Timpul de înlocuire se predetermină pe baza comparării cheltuielilor de exploatare a utilajelor în diverse situații și etape de funcționare. Menținerea în funcționare a instalațiilor energetice în zona parametrilor proiectați nu se poate face fără o strategie de revizii tehnice (RT) și reparații curente ($RC1$, $RC2$), respectiv de reparații capitale (RK). Pentru a putea transpune în practică strategia de reparații prestabilită este necesar să se asigure din punct de vedere teh-

nico-organizatoric atît resursele materiale, cît resursele umane. Modul de utilizare a acestor resurse se poate reflecta în calitatea reparațiilor prin calcularea indicatorilor specifici. Acești indicatori se referă la atingerea după reparații a capacității tehnice a agregatelor, la mărirea disponibilității instalațiilor, la mărirea duratei dintre reparații curente, respectiv reparații capitale, mărirea gradului de organizare a structurii sistemului prin micșorarea entropiei și mărirea energiei informaționale a fiecărui utilaj. Gradul de organizare a sistemului unde se fac reparații ale instalațiilor și utilajelor energetice depinde atît de organizarea lucrărilor cît și de omogenitatea echipelor de reparații. Lucrările de reparații se pot organiza local și se pot executa fie cu forțe proprii sistemului fie cu forțe din afara unității, planificate de forul ierarhic superior. La nivelul sistemelor furnizoare de energie reparațiile se planifică în golul curbei anuale de sarcină a sistemului și se execută fie de personalul secțiilor de reparații din cadrul întreprinderilor de centrale și a celor de rețele, fie se realizează cu ajutorul echipelor speciale organizate la nivel central. Preluarea avariilor din cadrul sistemului conceput și realizat se face cu ajutorul schemelor electrice și termomecanice construite pentru fiecare situație de insucces predeterminată pe baza analizei datelor statistice de defectare a elementelor instalațiilor energetice. Este știut că avarierea instalațiilor energetice diminuează calitatea energiei prin întreruperea alimentării consumatorilor. Întreruperea alimentării cu energie provoacă daune care sînt direct proporționale cu producția netă care s-ar fi realizat dacă instalațiile nu treceau prin stări de insucces. Modelele matematice de optimizare a activității din cadrul teoriei echipamentelor trebuie să aibă caracter probabilist pentru a îmbrăca fidel realitatea energetică complexă (fiabilitate, mentenabilitate, disponibilitate și preluarea avariilor) din cadrul sistemului de energie și trebuie să permită determinarea unui nivel tehnic (nivel de fiabilitate) cît mai ridicat al utilajelor și instalațiilor energetice cu un efort financiar cît mai mic cu putință.

Teoria echipamentelor asigură studiul fiabilității și mentenabilității sistemelor de energie pe baza schemelor de conexiuni. În cadrul sistemelor de energie se întîlnesc două clase de conexiuni și anume: conexiuni decompozabile și conexiuni nedecompozabile. În primul caz este vorba de conexiuni serie-paralel iar în cel de-al doilea caz conexiunile sînt în punte sau stea-triunghi. Conexiunile serie-paralel se abordează și se rezolvă cu ajutorul modelelor structurale iar cele stea-triunghi se modelează cu ajutorul probabilității totale. Fiabilitatea și mentenabilitatea sistemelor de energie se calculează după ce s-a predeterminat siguranța în funcționare a elementelor sale componente. Dacă se cunoaște fiabilitatea componentelor atunci pentru scheme serie-paralel și respectiv scheme stea-triunghi relațiile de calcul ale fiabilității sistemului au forma:

$$R_s(t) = \sum_i R_i(t); \quad R_p(t) = 1 - \prod_{i=1} [1 - R_i(t)]$$
$$R_{st}(t) = P(S/i) \cdot R_i(t) + P(S/\bar{i})\,[1 - R(t)] \tag{5.23}$$

în care: $R_s(t)$; $R_p(t)$; $R_{st}(t)$ = fiabilitatea sistemului pentru conexiuni serie (s); conexiuni-paralel (p) și conexiuni stea-triunghi sau cele în punte (st); $R_i(t)$ = fiabilitatea blocurilor componente; $P(S/i)$; $P(S/\bar{i})$ = probabilitățile

ca sistemul să funcționeze corect cînd blocul (i) funcționează sau cînd nu funcționează ($\bar{i}$).

Luarea în considerație a stărilor de defectare totală, respectiv parțială a structurilor se poate face studiind sistemele cu restabilire. Restabilirea se poate realiza fie prin repararea fie prin înlocuirea elementelor defectate. Restabilirile sînt activități de prevenire și înlăturare a defecțiunilor cu scopul readucerii sistemului în starea normală de funcționare pe baza teoriei reînnoirii. Conform acestei teorii se determină duratele de succes și insucces ale elementelor din structura sistemului și se calculează atît ritmul de reînnoire și menținere cît și timpul mediu de restabilire a sistemului în funcție de intensitatea restabilirii (u).

$$r_{mr} = r_r(t) - r_r(t-1)\,;\; r_{mm} = N_0[1 - p(t')] - \sum_t r_m(t) \cdot p(t'-t)$$
$$m_r = \int_0^\infty e^{-\mu t}\,dt\,;\;\text{dacă}\;\; \mu = \mu_i = ct\,;\;\; m_r' = \frac{1}{\mu_c} \qquad (5\text{-}24)$$

în care: r_{mr}; r_{mm} = ritmuri medii de reînnoire (mr) și de menținere (mm); $r_r(t)$; $r_r(t-1)$ = ritmurile de reînnoire la timpul (t) și timpul $(t-1)$; N_0 = numărul de elemente din schema studiată; $p(t')$; $p(t'-t)$ = probabilitățile de funcționare ale elementelor înlocuite la timpul (t') și în intervalul $(t'-t)$; m_r = media timpului de restabilire; u_c = intensitatea de restabilire constantă. Costul reînnoirii unor elemente din schema studiată în cazul unei uzuri nealeatoare are următoarea structură:

$$Z_{tr}^{tac} = \left\{ \sum_i (1 + p_n)^{-i} [I_{ir} + C_{ir} + D_{ir}] - R_{ir}^{tac} \right\} \qquad (5\text{-}25)$$

în care: Z_{tr} = cheltuielile totale actualizate pentru reînnoirea elementelor respectiv a utilajelor din sistemul analizat. I_{ir}; C_{ir}; D_{ir} = investițiile pentru reînnoire; (I_{ir}); cheltuielile de întreținere și reparație generate de aplicarea tribologiei și terotehnicii preventive și corective (C_{ir}) inclusiv cheltuielile cu daunele (D_{ir}); R_{ir} = valoarea remanentă a instalației energetice la dezafectare. Timpul optim de înlocuire se determină din compararea cheltuielilor pe diverse perioade (t) și $(t+1)$. Dacă $Z(t+1)$ este mai mare decît $Z(t)$ atunci este cel mai indicat moment de înlocuire a elementelor uzate din structura sistemului analizat. În cazul uzurii aleatoare la determinarea cheltuielilor care condiționează alegerea momentului de înlocuire a elementelor din sistem se ține seama de probabilitatea de avariere de forma:

$$p_{av}(t) = \left[1 - \frac{n(t)}{n(t-1)}\right] = (1 - p_{sv})\,; \qquad (5\text{-}26)$$

în care: $n(t)$ = numărul elementelor care supraviețuiesc în perioada (t) respectiv în perioada $(t-1)$. Raportul lor indică probabilitatea de supraviețuire (p_{sv}). Costul menținerii elementelor din sistem pe intervalul (t) se determină astfel:

$$Z_{mt}^{tac} = \left[\sum_i (1 + p_n)^{-i} [c_1 N_{oi} + c_2 r_i(t-1) + I_{mi} + D_{mi}] - R_{mi}^{tac} \right\} \qquad (5\text{-}27)$$

în care: Z_{mt} — cheltuielile totale actualizate pentru menținerea elementelor în sistem; p_n = coeficient normat de eficiență a instalațiilor energetice;

c_1 = costul specific de înlocuire a elementelor pe grupe; c_2 = costul specific de înlocuire a elementelor unul cîte unul; N_{0i} = numărul de elemente noi date în exploatare la începutul fiecărei perioade; $r(t)$ = funcția cumulată de reaprovizionare în perioada (t) care asigură menținerea în funcțiune a elementelor (N_{0i}); I_{mi}; D_{mi}; R_{mi} = investițiile, daunele și valoarea remanentă.

Costul reînnoirii elementelor din sistem cînd utilajele se depreciază prin îmbătrînire se calculează astfel:

$$Z_{rd}^{tac} = \sum_i (1 + p_n)^{-i} \{I_{ir}^{rd}[1 - f_r(t)] + C_{ir}^{rd}(t)\} - R_{rd}^{tac} \qquad (5\text{-}28)$$

Dacă $f(t)$ și $C_{ir}(t)$ sînt liniare atunci costul Z_{rd}^{tac} = constant. Cînd $f(t)$ este o funcție exponențială iar cheltuielile de întreținere și reparație $C_{ir}(t)$ sînt liniare funcția nu are minim deci utilajul se poate menține în exploatare un timp îndelungat. Dacă funcția $f(t)$ și cea pentru determinarea cheltuielilor de întreținere și reparație $C_{ir}(t)$ sînt exponențiale atunci costul total actualizat are forma:

$$Z_{rd}^{tac} = \left\{ \sum_i (1 + p_n)^{-i} [I_i^{rd}(1 - e^{-\lambda t}) + k_0(e^{-\mu t} - 1)] - R_{tac}^{rd} \right\} \qquad (5\text{-}29)$$

în care: λ = ritmul căderilor sau ritmul avarierilor; μ = ritmul restabilirilor sau de menținere. În cazul uzurii aleatoare se studiază ritmul avarierilor și ritmul de menținere cu relații de forma:

$$\lambda(t) = -\frac{v'(t)}{v(t)}; \quad r_m = \frac{1}{t} \qquad (5\text{-}30)$$

Dacă ritmul de avariere este constant atunci $v = e^{-\lambda_0 t}$ iar cînd este variabil atunci $v = e^{-0,5\lambda_0 t^2}$. Ritmul de menținere este inversul mediei timpului de supraviețuire (t).

Ținînd seama de funcția de supraviețuire $v(t)$ și de ritmul de reaprovizionare $r'(t)$ se determină numărul total de elemente, respectiv utilaje în exploatare la momentul (t) cu ecuația integrală a lui Voltera denumită și funcție de utilitate scrisă sub forma:

$$f(t) = N_0 \cdot v(t) + \int_0^t r'(t) \cdot v(t - t')\, dt' = N_0 \qquad (5\text{-}31)$$

În cazul sistemelor cu restabilire trebuie să se determine atît probabilitatea ca sistemul să funcționeze $P_r(t)$ la timpul (t) cît și coeficientul de disponibilitate (c_{an}). Aceste mărimi se calculează astfel:

$$P_r(t) = R(t) + \int_0^t R(t - x) \cdot h(x)\, dx; \quad c_{an} = \frac{m}{m + m_r} \qquad (5\text{-}32)$$

în care: $R(t)$ = funcția de fiabilitate; $R(t - x)$ = probabilitatea de funcționare a sistemului restabilit; $h(x)$ = probabilitatea restabilirii sistemului; m = media variabilei aleatoare dependentă de timpul de funcționare; m_r = media generată de timpul de restabilire. Această relație este valabilă doar pentru sisteme cu structură serie (cînd nu se fac restabiliri parțiale). Pentru alte tipuri de structuri calculul se face pe baza modelelor Markov.

Modelele Markov reproduc la scară stările proceselor stohastice, atît la un moment dat cît și în timp. Stările modelate cu un lanț Markov compus dintr-o succesiune de stări discrete sînt complet determinate de ultima stare cunoscută. Deci pentru a estima starea sistemului la un moment dat nu trebuie cunoscută întreaga evoluție a sistemului pînă în momentul considerat ci doar ultima stare la momentul cercetării. Modul cum sistemul a ajuns în starea finală nu contează pentru evoluția sa ulterioară. Impropriu se spune că viitorul sistemului nu depinde de trecut ci este condiționat doar de prezent. Mai exact ar trebui spus că viitorul sistemului depinde de trecut dar numai prin intermediul stării prezente deoarece întregul trecut al sistemului este sintetizat în starea prezentă. Un lanț Markov este omogen dacă într-un interval de timp foarte mic nu apar două sau mai multe schimbări în starea sistemului moldelat. Proprietatea de omogenitate a lanțurilor Markov admite doar o singură schimbare a stării la nivelul unui element ceea ce atestă că starea finală nu depinde direct de toate stările anterioare prin care a trecut sistemul. Dacă timpul de funcționare și timpul de restabilire respectă repartițiile exponențiale pentru care intensitățile de defectare și cele de restabilire sînt constante, atunci intensitățile de trecere a sistemului dintr-o stare în alta sînt constante iar probabilitățile de trecere nu depind de timp ci doar de lățimea intervalului de trecere. În acest caz se spune că lanțul Markov este staționar. În cele mai multe cazuri se studiază probleme stochastice pertinente de-a fi modelate cu lanțuri Markov staționare și omogene. Modelele Markov sub formă algebrică și matricială pentru studiul evoluției stărilor unui sistem se pot scrie sub următoarele forme:

a) Forma algebrică

$$P_j(t+t') = \sum_{i=0}^{n} P_i(t) \cdot P_{ij}(t'); \qquad (5\text{-}33)$$

$$p_{ij}(t') = d_{ij}^{k}(t') + (-1)^{d_{ij}^{k}} \cdot a_{ij}^{t} \Delta t'$$

b) Formă matricială

$$P(t+t') = (Pt) \cdot p(t')$$

$$P'(t) = P(t) \cdot p'(0)$$

în care: $P_j(t+t')$ = probabilitatea necondiționată ca sistemul să se afle în starea (j) la momentul (t) cînd se perturbă aceasta stare pe intervalul (t'); $P_i(t)$ = probabilitatea absolută a stării (i); p_{ij} = probabilitatea de trecere din starea (i) în starea (j) pe durata (t'); d_{ij} = simbolul Knoneker; a_{ij} = intensitatea de trecere; $P'(t)$ = derivata mărimii $P(t+t')$; $p'(0)$ este derivata mărimii $p(t')$ cu valori nule pe linie a matricei considerate. Pe baza acestor relații se poate studia fiabilitatea sistemelor și se pot calcula probabilitățile de funcționare sau cele de defectare în condiții date respectînd următorul algoritm: definirea noțiunii de stare și stabilirea stărilor posibile; construirea matricei de trecere $p_{ij}(t)$ și a matricei $p'(0)$; rezolvarea sistemului de ecuații $P'(t) = P(t) \cdot p'(0)$.

Conceptul de stare se definește ținînd seama că stările sistemului să satisfacă condiția de dependență markoviană. Pentru a putea modela matematic

sistemul este necesar să se definească un număr mic de stări posibile. Dacă fiecare element al sistemului are două stări (starea de succes și starea de insuces) și sistemul este format din (n) elemente atunci numărul total de stări ale sistemului va fi (2^n). Pentru un sistem ergodic la care $P_j(t)$ tinde spre o valoare constantă independetă de timp și de starea inițială soluția pentru regimul permanent (staționar) cînd $P'(t) = 0$ se obține rezolvînd ecuații de forma:

$$P(t) \cdot p'(0) = 0; \quad \sum_{j=0}^{n} P_j(t) = 1 \tag{5-34}$$

Sistemul cuprinde $(n + 2)$ ecuații și $(n + 1)$ necunoscute și se rezolvă pe cale obișnuită fără dificultăți. Pentru sisteme cu elemente conectate în serie studiul fiabilității se face cu ajutorul arborelui de pertinență (de posibilități) denumit și arbore de evenimente respectiv arbori de logică directă și logică negată. Se notează (x_i) evenimentul pentru buna funcționare a blocului (i) și cu (x) evenimentul pentru succesul sistemului din punct de vedere al fiabilității. Funcționarea sistemului se poate descrie fie printr-o schemă logică directă cu circuit (ȘI) pentru că succesul este asigurat prin funcționarea tuturor elementelor (și elementul 1 și elementul 2; și elementul 3 etc.) fie printr-o schemă logică negată cu circuit (SAU) deoarece insuccesul sistemului este provocat sau de evenimentul 1 sau de evenimentul 2 sau de evenimentul 3.

Relațiile de calcul ale probabilităților de realizare ale evenimentelor (x_i) respectiv (x) au următoarea structură matematică:

$$\text{a) } P(X) = \sum_{i=1}^{n} P(x_i); \quad \text{b) } P(\bar{x}) = [1 - P(x)] = \sum_{i=1}^{n} P(x_i). \tag{5-35}$$

Prima relație este valabilă pentru schema logică directă iar a doua se folosește pentru schema logică negată. Trecerea de la logica directă la cea negată se face prin transformarea legăturii ȘI-SAU în SAU-ȘI. Pentru sisteme cu elemente în paralel logica directă operează cu relația (b) iar logica negată cu relația (a) Pentru sisteme cu elemente mixte vor apărea atît porți (ȘI) cît și porți (SAU). Aplicarea arborelui de evenimente la calulul fiabilității reclamă cunoașterea schemei structurale a sistemului.

Utilizarea arborilor de evenimente prezintă interes practic atît pentru cunoașterea probabilității de defectare a unui sistem care îndeplinește o singură funcție cît și pentru calcularea probabilității de realizare a funcțiilor sistemului complex. Probabilitățile de defectare a sistemului se pot calcula dacă se cunoaște structura statistică a evenimentelor cauză. Stabilirea cauzelor care generează căderile elementelor sistemului se face tot cu ajutorul arborilor de evenimente cunoscînd în principal structura tehnologică și de organizare a întregului sistem supus cercetării.

În scopul creșterii fiabilității, sistemele sînt înzestrate cu elemente de rezervă fapt pentru care sînt denumite sisteme rezervate sau redondante. Orice sistem redondant cuprinde trei clase de elemente și anume: elemente de bază; elemente de rezervă și elemente de comutare a rezervelor. Elementele de rezervă preiau rolul celor de bază cînd apare un defect și asigură funcționarea continuă a sistemului. Elementele de comutare introduc în sistem rezervele în timp util pentru a preîntîmpina stările de insucces ale instalațiilor

la apariția defectelor. Dintre tipurile de rezervare a elementelor cel mai adecvat este acela privitor la rezervele care așteaptă intrarea în sistem pentru a prelua eventualul defect probabil. Rezervarea poate fi fierbinte, caldă sau rece. În primul caz rezerva funcționează în paralel cu elementul de bază și intră în sarcină totală după căderea bazei. Rezerva caldă reclamă un element pregătit gata să intre în funcțiune în orice moment. Rezerva rece este formată din elemente care așteaptă fără o pregătire prealabilă. Ea este o rezervă pasivă față de rezerva fierbinte care este activă. Calculul probabilităților de funcționare al rezervelor se face fie cu ajutorul modelelor structurale fie cu modele de tip Markov. Ultimul tip de model se utilizează în sisteme complexe unde apar restabiliri. Schemele de rezervare pot fi cu rezervare totală, cu rezervare separată, rezervare glisantă, rezervare selectivă și cu rezervare combinată. Relațiile de calcul ale rezervărilor și indicii de fiabilitate pentru cele mai uzuale scheme de siguranță în funcționare ale sistemelor se pot urmări în literatură [89] [90]. Eficiența rezervării (e_r) se determină astfel:

a) Apariția unui singur defect

$$e_r = \left[\frac{1-R}{1-R_r}\right]; \quad d_{nr} = \left[1 - \frac{\rho}{1+\rho}\right]; \quad d_r = \left[1 - \left(\frac{\rho}{1+\rho}\right)^k\right]$$

b) Apariția a două defecte

$$e_{rs} = \left[\frac{p_s + p_0}{p_s^2 + 2p_0 + p_0^2}\right]; \quad e_{rp} = \left[\frac{p_s + p_0}{2p_s + p_s^2 + p_0^2}\right]; \tag{5-36}$$

$$e_{sr} = \left[\frac{1-d_{ri}}{1-d_{rri}}\right] = \left[\frac{1-(t_{mr}/t_{mf})^2}{1-0{,}5(t_{mr}/t_{mf})^2}\right]$$

în care: e_{rs}; e_{rp} = eficiența rezervării serie (rs) și paralel (rp) · R; R_r = funcțiile de fiabilitate a sistemului nerezervat (R) și rezervat (R_r). Rezervarea este utilă numai dacă $R_r > R$. Domeniul eficient al rezervării apare necesar pentru $R > 0{,}5$. Dacă $R(t_{cr}) = 0{,}5$ atunci se calculează momentul reviziilor adică timpul de funcționare după care se fac revizii și reparații și la care se reînoiesc elementele afectate; d_{nr}; d_r = disponibilitățile sistemului nerezervat (nr) și rezervat (r); $\rho = \frac{t_{mr}}{t_{mf}}$ = raportul dintre timpul mediu de restabilire și timpul mediu de funcționare; k = numărul de elemente identice din sistem; p_s; p_0 = probabilitățile defectării elementelor prin scurtcircuit (s) și prin întrerupere (0). e_{sr} = eficiența rezervării pentru sistemele nerezervate; $(1 - d_{rr})$ = funcția de nedisponibilitate a sistemului rezervat. Disponibilitatea sistemului rezervat cu rezervă fierbinte (d_{ri}) și cu rezerve rece (d_{rri}) se calculează și cu relații simplificate dacă se cunosc timpii medii de restabilire și de funcționare (t_{mr}; t_{mf}).

Alocarea rezervării se poate optimiza fie cu ajutorul multiplicatorilor Langrange la care apar restricții de cost sau prin programe dinamice. Ultima cale este mai avantajoasă pentru că oferă soluția optimă de alocare în numere întregi dar aplicarea ei este restricționată de dimensiunile memorării calculatoarelor și de timpul de lucru necesar rezolvării problemelor de rezervare la structuri complexe.

Optimizarea rezervării urmărește preluarea avariilor în condiții de risc minim prin restabilirea regimului inițial și menținerea lui la parametrii proiectați. Capacitatea sistemului de-a fi menținut în stare normală de funcționare poartă denumirea de mentenabilitate. Complexul de activități de menținere și readucere a sistemului în stare de succes se numește mentenanță. Mentenanța poate fi preventivă sau corectivă. În primul caz se previne defectul iar în cazul al doilea intervenția de restabilire a regimului de succes are loc după producerea incidentului de exploatare. Mentenanța asigură o disponibilitate cît mai mare a elementelor din structura sistemului analizat. Relațiile cu care se operează pentru determinarea nivelului de mentenanță au următoarele forme:

$$\text{a)}\ M_1(t) = P\{T_m < t\};\ \mu_m = \frac{1}{1-M(t)}\,\frac{\mathrm{d}M(t)}{\mathrm{d}t};\quad m_m = \int_0^\infty [1-M(t)]\,\mathrm{d}t$$

$$\text{b)}\ M_2(t) = [1 - e^{-\mu_m t}];\quad \mu_m = ct;\quad m_m = [1/\mu_m] \qquad (5\text{-}37)$$

în care: $M_1(t)$ = funcția generală de mentenanță; T_m = timpul de efectuare a unei activități de mentenanță. Funcția de mentenanță $M_1(t)$ redă legea de repartiție a variabilei aleatoare (T_m) adică este probabilitatea ca durata (T_m) a unei activități de mentenanță să nu depășească un anumit timp dat $(t)\cdot\mu_m(t)$ = intensitatea activității de mentenanță. m_m = durata medie a activității de mentenanță. Dacă prin mentenanță corectivă sistemul este readus într-o situație nouă atunci pentru creșterea fiabilității se apelează la teoria reînnoirii. Mentenanța corectivă face apel la o durată de restabilire (reînnoire) (T_r) care are caracter aleator pe cînd mentenanța preventivă apelează la durata de restabilire planificate apriori care nu au caracter aleator. Eficiența unor activități de mentenanță depinde de adaptarea unor strategii de reînnoire a elementelor defecte. Strategiile de reînnoire pot fi: pur corective cînd nu se înlocuiesc preventiv elementele; cu înlocuire după vîrstă; cu înlocuire în bloc (strategie rigidă) și strategie rigidă cu timp de așteptare. Reînnoirea preventivă se aplică numai pentru elementele care au depășit vîrsta (v) planificată inițial. Costurile necesare aplicării strategiilor menționate pentru o vîrstă optimă (v_{opt}) a elementelor sistemului cercetat se determină cu relații de forma:

$$Z_{cr} = \frac{1}{m}\cdot Z_{in}^{cr};\quad Z_{idv} = (Z_{in}^{cr} - Z_{in}^{pv})\cdot Z(v_{opt});$$

$$Z_{rd} = Z_{in}^{cr}\cdot h(d_{op}^{rin});\quad Z_{rd}^{as} = Z_{in}^{cr}\cdot h(d_{op}^{rin})\left[1 - \frac{t_1}{2d_{op}^{rin}}\cdot\frac{Z_{in}^{cr} - Z_{as}}{Z_{in}^{cr}}\right] \qquad (5\text{-}38)$$

$$Z(v_{opt}) = \frac{m_n}{m(m_n - m_p)} = \text{rata de defectare}$$

Depistarea stării de defectare se realizează prin inspecție. Criteriul rațional de stabilire a inspecției este valoarea medie totală a costului. La precizarea planului de inspecție trebuie să se cunoască: durata de observare a sistemului, probabilitatea duratei de funcționare pînă la defectarea întregului sistem considerat; costul unei inspecții și costul daunelor generat de nefuncționarea sistemului. În relațiile anterioare intervin următoarele mărimi: Z_{cr} = costul reînnoirii corective pe unitatea de timp cunoscînd costul total

(Z_{in}^{cr}) și durata medie de funcționare (m). Z_{idv} = costul înlocuirii după vîrsta cunoscînd rata de defectare $Z(v_{opt})$ și diferența dintre costul corectiv (Z_{in}^{cr}) și preventiv (Z_{in}^{pv}); Z_{rd} = costul aplicării strategiei rigide cînd se cunoaște intensitatea de reînnoire $h(d_{op}^{rin})$ în funcție de perioada optimă a înlocuirilor preventive. Z_{rd}^{as} = costul aplicării strategiri rigide cu așteptare; t_1 = durata maximă a așteptării; Z_{as} = costul așteptării. Eficiența mentenanței și a planului de inspecție este condiționată de stocul de piese de schimb necesar asigurării în timp util a regimului normal de funcționare a sistemului avariat. În practică pot apărea trei situații și anume: stoc zero; stoc de piese și stoc de subansamble. Activitatea cu stoc zero se regăsește în strategia mentenanței corective și poate fi aplicată dacă aprovizionarea cu elemente de rezervă nu ridică probleme. În cazul stocului de piese de rezervă se pune problema dimensionării acestuia ca să corespundă strategiei de funcționare și să imobilizeze fonduri cît mai mici în condiții de reducere a timpului de nefuncționare a sistemului. Reducerea duratei de inactivitate a sistemului se face adoptînd o strategie cu stoc combinat (piese și subansamble de schimb).

Studiul cibernetic al sistemelor de energie sub aspectul teoriei echipamentelor (achiziții de noi elemente; întreținerea și repararea celor în funcțiune și preluarea defecțiunilor fără risc) implică stabilirea legăturilor cu teoria stocurilor deci reclamă aplicarea concepției sistemice pe întregul mănunchi de teorii ale cercetării operaționale în vederea optimizării activității de organizare a regimurilor de succes de de la nivelul întregului sistem și preluarea fără risc a incidentelor de exploatare.

Teoria ordonanțării vizează stabilirea succesiunii lucrărilor pe diverse locuri de lucru din cadrul unui sistem de producție, respectiv urmărește determinarea încărcării mașinilor la sarcină economică astfel ca eficiența producției să crească, iar consumurile specifice de materiale și energie să scadă. Problemele de ordonanțare se referă atît la alegerea ordinii în care să fie serviți clienții care așteaptă cît și la rezolvarea unor proiecte sau lucrări care trebuie executate într-o anumită ordine. Pentru fiecare lucrare respectiv proiect se poate aplica teoria ordonanțării cu scopul determinării cheltuielilor pentru executarea lor dacă se cunosc restricțiile problemei și anume: timpul de începere și de terminare a fiecărei lucrări, structura activităților din cadrul fiecărui proiect, ordinea și duratele operațiilor, timpii de transport, cantitatea de resurse necesară executării lucrării în condițiile normale respectiv în condiții de excepție (accelerate sau penurie de resurse). Problemele de ordonanțare pot apărea chiar cînd avem o singură avtivitate ca în cazul producerii energiei electrice cînd se caută ordinea în care trebuie încărcate agregatele astfel încît consumul de combustibil să fie minim. Ordonanțarea se face în ideea minimizării cheltuielilor de fabricație care implică realizarea unui timp minim de desfășurare a lucrărilor. Restricțiile care se analizează în cadrul rezolvării problemelor de ordonanțare se referă la succesiunea logică a operațiilor, la condițiile de neinterferență a lucrărilor, la studierea diverselor particularități ale utilizării capacităților în timp și cele pentru nedepășirea potențialului de capacitate existent în întreprindere ținînd seama de disponibilități și reparații.

Întrucît ordonanțarea fabricației face apel la probleme combinatorii, rezolvarea optimă a prelucrării eficiente a operațiilor pe mașini se poate

face cu ajutorul metodei ramificării și limitării (Branch and Bound). Această metodă a fost pusă la punct de I.D. Little și se folosește curent la găsirea optimului problemelor combinatoriale. Ideea de bază a metodei constă în determinarea optimului prin stabilirea unor limite. Apoi se continuă explorarea soluțiilor posibile numai din ramificațiile care duc la punctul optim. Etapele care se parcurg în aplicarea metodei Branch and Bound se referă la calcularea marginii inferioare a funcției de eficiență (în cazul minimizării) sau a frontierii superioare (în cazul maximizării) și se continuă calculația prin împărțirea soluției în mulțimi de variante funcție de restricțiile suplimentare intervenite în calcul. Se analizează fiecare ramură a arborelui de variante și se înaintează cu investigația dacă toate limitele inferioare atinse la ramificațiile precedente au valori superioare sau egale cu valoarea funcției din nodul considerat. În literatura de specialitate metoda Branch and Bound se întîlnește aplicată la probeleme de programare a producției cum ar fi: programare cu mai multe variabile boolene; programare cu numere întregi cunoscută ca metoda raniței și barierii (The Knapsach and turnpike model) și problema stabilirii drumului hamiltoman la ordonanțarea producției. În literatura [54] se arată modul de aplicare a metodei Branch and Bound la minimizarea timpilor neproductivi în cazul prelucrării unui set de piese la două mașini.

În procesele de aparatură din cadrul sistemelor industriale cu structura continuă (centrale electrice) repartizarea sarcinilor pe grupuri și cazane se face pe baza ecuațiilor Euler-Lagrange din cadrul calculului variațional aplicate în condiții de certitudine și incertitudine. Operativ, problema ordonanțării fabricației se rezolvă parcurgînd următoarele etape: pornirea grupurilor de la rece se face în ordinea creșterii consumurilor de mers în gol iar deconectarea lor de la rețea se realizează în ordinea descreșterii consumurilor de mers în gol; încărcarea agregatelor din centrale se face în ordinea creșterii consumurilor specifice suplimentare (dacă cazanele și grupurile au caracteristici lineare) iar descărcarea lor se realizează în ordinea descreșterii consumurilor specifice suplimentare. Dacă grupurile care merg în paralel cu caracteristici energetice neliniare atunci repartizarea optimă se obține prin egalarea tuturor consumurilor specifice suplimentare. Această regulă se aplică atît la nivelul cazanelor și grupurilor cît și la nivelul centralelor electrice. Ordonanțarea optimă a fabricației la nivelul sistemului energetic se fac pe baza egalității consumurilor specifice ale centralelor din sistem. Pentru a ține seama de pierderile de putere în rețelele electrice ale sistemului, consumurile specifice suplimentare ale centralelor se corectează pe baza consumurilor specifice suplimentare ale rețelelor electrice. Aceste corecții se fac atît pentru circulația puterii active cît și pentru circulația puterii reactive. Ordonanțarea optimă trebuie să corespundă minimului cheltuielilor de producție în care ponderea cheltuielilor cu combustibilul este esențială.

Transpunerea în pactică a algoritmilor de ordonanțare a fabricației atît la nivelul sistemelor discrete cît și la nivelul sistemelor continue de producție se face ținînd seama de următoarele probleme; întreruperile care apar în producție datorită fie avariilor, fie altor cauze trebuie să se reflecte în restricțiile modelului ordonanțării; coordonarea activității pe schimburi trebuie realizată așa fel încît schimbul care urmează să preia și să finiseze lucrările rămase

de la celelalte schimburi; planul de reparații al mașinilor se ia în considerație la constituirea modelului de ordonanțare asimilînd fiecare reparație a unei mașini cu o operație la care se pun condiții de începere și de terminare a lucrării; reflectarea în restricțiile modelului matematic a comasărilor de operații; a calculării lotului optim; a realizării unui flux informațional rațional și pertinent. Cunoașterea realizărilor în raport cu normarea producției permit corectarea încărcării fiecărui tip de mașină astfel ca programul de producție să poată fi realizat în cel mai scurt timp cu consumuri materiale și energetice cît mai mici.

5.3.4. **Aspecte fenomenologice ale ingineriei umane**

Ingineria umană ca teorie a cercetării operaționale dă consistență și pune bazele matematice pentru optimizarea funcției de personal. Ea urmărește proiectarea și utilizarea rațională a resurselor umane în condițiile de dezvoltare modernă atît a părții tehnologice cît și a celei de organizare din cadrul sistemelor de energie. Această acțiune se transpune în practică ținînd seama de adaptarea capacității omului la diverse locuri de lucru și luînd în considerație o profilare a lucrărilor la posibilitățile omului modern. Funcțiile omului în cadrul sistemelor de energie se referă în principal la conceperea și executarea obiectivelor astfel ca efortul fizic și intelectual să fie minim. În procesele de aparatură acest deziderat se poate înfăptui pe calea implementării și extinderii dialogului om-calculator în care rolul omului constă pe de o parte în aplicarea prin programe-soft a concepției de organizare și se referă la supravegherea funcționării optimale a tuturor instalațiilor de pe altă parte. Reușita acestor acțiuni reclamă policalificarea personalului muncitor și reciclarea acestuia pe problemee de bază ale energocibernetici.

Creșterea aportului omului la organizarea sistemelor de energie reclamă studierea și rezolvarea următoarelor probleme: recrutarea, pregătirea și promovarea personalului pe baza prevederilor legislative și a capacității acestuia; organizarea locurilor de lucru și a transportului intern; normarea și retribuirea muncii precum și dezvoltarea dialogului om-calculator. Formarea unui personal calificat și selectarea acestuia se face prin imprimarea unui nivel de pregătire și a unor calități care apoi trebuie verificate prin teste (generale și speciale). Testarea se face din următoarele puncte de vedere: cunoștințe profesionale generale (X); cunoștințe legate de executarea unei anumite munci (Y); cunoștințe legate de îmbunătățirea procesului de muncă (Z); aptitudinile candidaților (A); sfera lor de interese (I) ținîndu-se seama de influența condițiilor ergonomice de la fiecare loc de muncă (zgomot, iluminat, coloritul încăperii etc.); gradul de pregătire a candidaților și gradul de dezvoltare a aptitudinilor tuturor celor selectați pentru testare. În vederea alegerii leaderului unui grup se fac testări suplimentare pentru sublinierea inteligenței (U); a comportamentului (V) și a simțului prospectiv (W). Punctajul testelor se poate obține pe baza activității profesionale și psihosociologice rezultate la exemplificarea modului de lucru a cinci concurenți (A; B; C; D; E). Decizia se adoptă pe baza criteriului Savage pentru alegerea celui mai bun candidat pentru domeniile (D_1; D_2; D_3; D_4) cu datele din matricele (MO1, MO2, MO3) și pe baza criteriului Bayes-Laplace în cazul

datelor din matricile (MO4; MO5; MO6; MO7). Rezutatele finale pentru selectarea leaderului unui grup se pot urmări în matricele (MO8 și MO9). Mărimile (*X*) (Y) (*Z*) se calculează cu relații de forma:

$$X = \sum_{i=1}^{5} k_i \sum_{j=1}^{n} a_j b_j; \quad Y = \sum_{i=1}^{5} k_i \sum_{r=1}^{n} a_r b_r; \quad Z = \sum_{i=1}^{5} k_i \sum_{p=1}^{n} a_p b_p \qquad (5.39)$$

în care: k_i = coeficient pentru stabilirea influenței condițiilor ergonomice; $a_{j(r)\,(p)}$; $b_{j(r)\,(p)}$ = mărimi care exprimă gradul de dezvoltare a aptitudinilor (*a*) și a nivelului pregătirii profesionale (*b*) a candidaților testați la trei nivele (*j*); (*r*) și (*p*). Rezultatele și modul de aplicare a testărilor profesionale și a celor psihosociologice la selectarea candidaților se pot urmări pe tabelele (5-4) (5-5).

TABELUL 5.4

Matrici pentru aplicarea testelor profesionale și a celor psihosociologice la nivelul personalului de execuție și de conducere

Domenii de activitate	Rezultate teste	
	A	*I*
D_1	10	9
D_2	8	10
D_3	9	2
D_4	5	8

M-01

Domenii de activitate	Regrete posibile	
	A	*I*
D_1	0	1
D_2	2	0
D_3	1	8
D_4	5	2

M-02

Valorile maxime ale regretelor
1
2
8
5

*Valoare optimă
M-03

	X	*Y*	2	Punctaj mediu
A	8	10	1	6,30
B	7	6	0	4,30
C	10	10	5	8,30
D	7	7	0	4,60
E	9	10	7	8,60

M-05

	A	*B*	*C*	*D*	*E*	Functaj mediu
A	0	10	9	9	9	9,25
B	7	0	6	8	7	7,00
C	8	7	0	8	9	8,00
D	6	7	7	0	6	6,50
E	1	2	2	1	0	1,50

M-05

	Criteriul profes. (1/2)	Criteriul psiho-soc. (1/2)	Punctaj total
A	6,30	9,25	7,77
B	4,30	7,00	5,65
C	8,30	8,00	8,15*
D	4,60	6,50	5,55
E	8,60	1,50	5,05

M-06 * Valoare optimă

TABELUL 5.3

Matrici pentru aplicarea testelor profesionale și a celor psihosociologice la nivelul personalului de execuție și de conducere

	X	Y	Z	Punctaj mediu
A	8	10	1	6,30
B	7	6	0	4,30
C	10	10	5	8,30
D	7	7	0	4,60
E	9	10	7	8,60

M-07

	U	V	W	Punctaj mediu
A	8	10	10	9,30
B	6	8	8	7,30
C	9	9	8	8,60
D	6	8	7	7,00
E	9	1	2	4,00

M-08

	Criteriul profesional (1/2)	Criteriul psiho-soc. (1/2)	Punctaj total
A	6,30	9,30	7,80
B	4,30	7,30	5,80
C	8,36	8,60	8,48*
D	4,60	7,00	5,80
E	8,60	4,00	6,30

*Valoare optimă

M-09

După testare și îndeplinirea tuturor formelor cerute de legislația în vigoare candidații selectați iau postul în primire și trec la cunoașterea în detaliu a sarcinilor din cadrul locului de lucru cuprinse în fișa postului. După perioada de acomodare lucrătorii prinși în oganigramă intră în regim normal de muncă. Organigramele cuprind întregul personal muncitor (conducere și execuție) și sînt elaborate pe baza normelor legislative de structura în vigoare la nivelul ramurii energetice. Datorită schimbărilor care apar în producție și a tendinței

de a se extinde dialogul „om-calculator", organigranele se supun procesului de îmbunătățire structurală fie prin mărirea numărului de posturi cînd apar funcții noi de conducere, respectiv de execuție, fie prin micșorarea posturilor cînd unele acțiuni nu se justifică sub aspect tehnico-economic. Îmbunătățirea structurii organigramelor de personal pe funcțiuni se face pe baza calculării indicilor de centralitate și periferism și a puterilor de iterație (1) (2) (3). Interpretarea rezultatelor permite găsirea punctului central din organigramă în jurul căruia se concentrează întreaga activitate, așa fel încît calitatea producției să crească în condiții de eficiență sporită a întregii activități. Exemplu de transformare a organigramei ISPE pe baza acestui algoritm se poate urmări pe schemele figurilor (5.7) ab.

Organizarea locurilor de lucru se face cu scopul adaptării omului la condițiile specifice de lucru și a profilării muncii industriale la posibilitățile și aptitudinile omului. Organizarea locurilor de lucru se realizează printr-un complex de măsuri care vizează asigurarea condițiilor ca munca să fie maxim-productivă iar personalul muncitor să depună un efort rațional și să consume timp cît mai puțin pentru executarea lucrărilor în condiții de calitate. Organizarea rațională a locului de lucru este influențată de mijloacele de producție, de obiectele muncii, de forța de muncă și de condițiile generale de producție și de muncă. La alegerea mijloacelor de muncă trebuie respectate următoarele reguli: utilajul să prezinte un nivel tehnic cît mai ridicat, fiabilitatea instalației alese să fie maximă în condiții de deservire ușoară a utilajului, mașinile să funcționeze fără zgomot, respectiv fără vibrații, și să nu degaje căldura peste limitele admisibile, praf sau gaze nocive, instalațiile să fie înzestrate cu toate dispozitivele de securitate necesare eliminării cauzelor de accidente, sculele și dispozitivele trebuie să fie de calitate și să contribuie la reducerea efortului fizic depus de pesonalul muncitor. Obiectele muncii pot influența modul de organizare a locurilor de lucru începînd cu aprovizionarea cu resurse a producției și continuînd cu depozitarea lor lîngă fiecare mașină. Aprovizionarea trebuie să fie ritmică, iar stocarea trebuie să nu ducă la aglomerarea spațiilor de lucru. Forța de muncă influențează esențial organizarea locului de lucru prin folosirea rațională a mijloacelor de producție, prin aplicarea celor mai eficiente metode de muncă, prin asigurarea unor condiții ergonomice de lucru, prin respectarea tehnologiei fabricației și a disciplinei în muncă, prin asigurarea asistenței tehnice și menținerea regimului proiectat de funcționare a instalațiilor, prin eliminarea rebuturilor și prin asigurarea unei producții de calitate. Condițiile generale de producție și muncă contribuie la organizarea locului de lucru prin corelarea tuturor factorilor ergonomici cu scopul menținerii capacității maxime de lucru a personalului muncitor și în ideea realizării unei productivități sporite a muncii. Ergonomia ca disciplină de optimizare a corelației dintre om-muncă și mediu reclamă rezolvarea unor probleme de microclimat al locului de lucru (temperatura, umiditate, curenți de aer, radiații) prin respectarea normelor de protecția și igiena muncii, prin soluționarea unor probleme de protecția omului și a instalațiilor împotriva factorilor nocivi (praful industrial, gazele și vaporii toxici) prin ermetizarea instalațiilor și prin prevederea unei ventilații corespunzătoare, prin rezolvarea unor probleme legate de eliminarea zgomotelor și asigurarea unui iluminat cu eficiență maximă la nivelul planului de lucru, prin găsirea soluțiilor unor

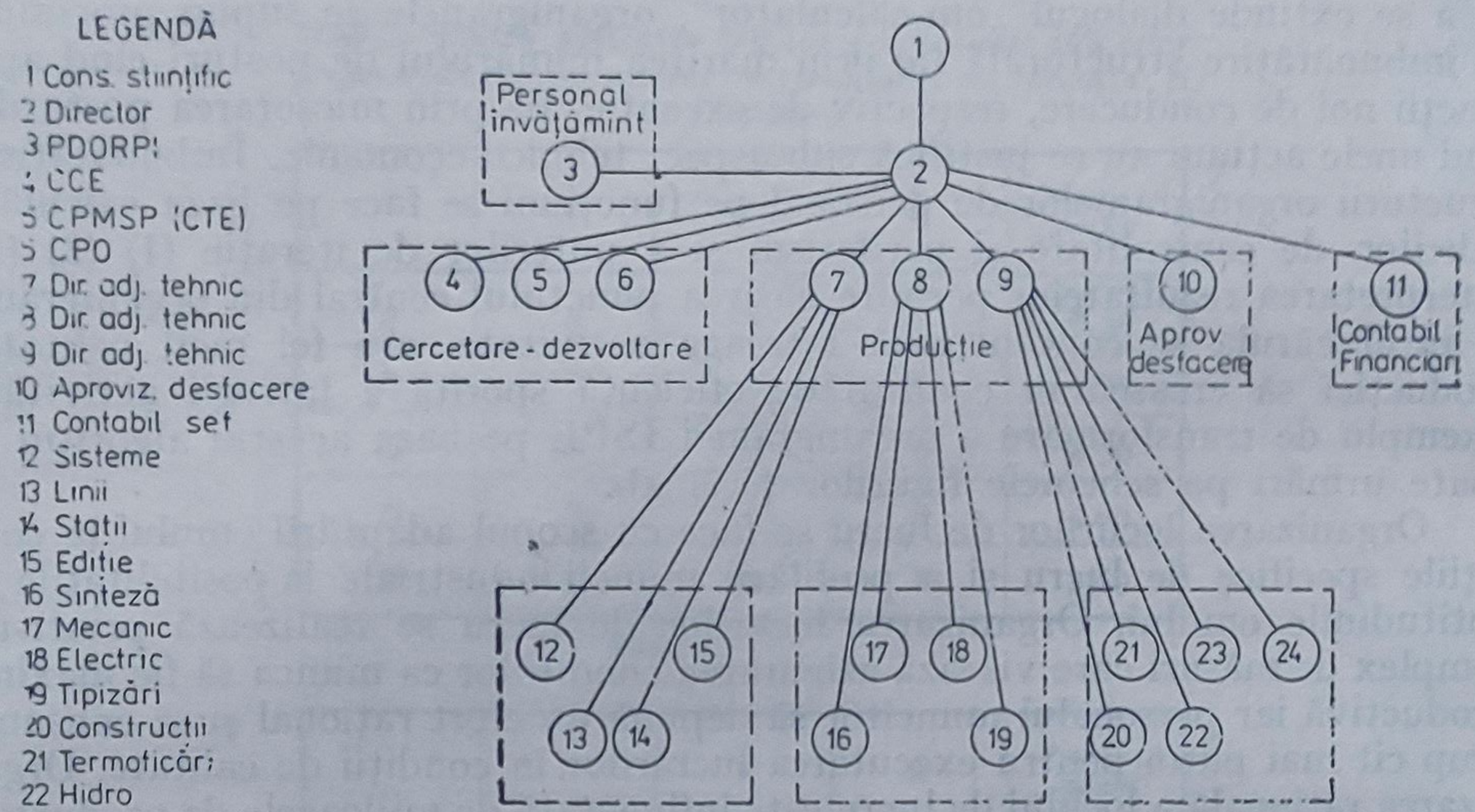


Fig. 5.7. a.
ORGANIGRAMA ISPE VARIANTA CURENTĂ I.

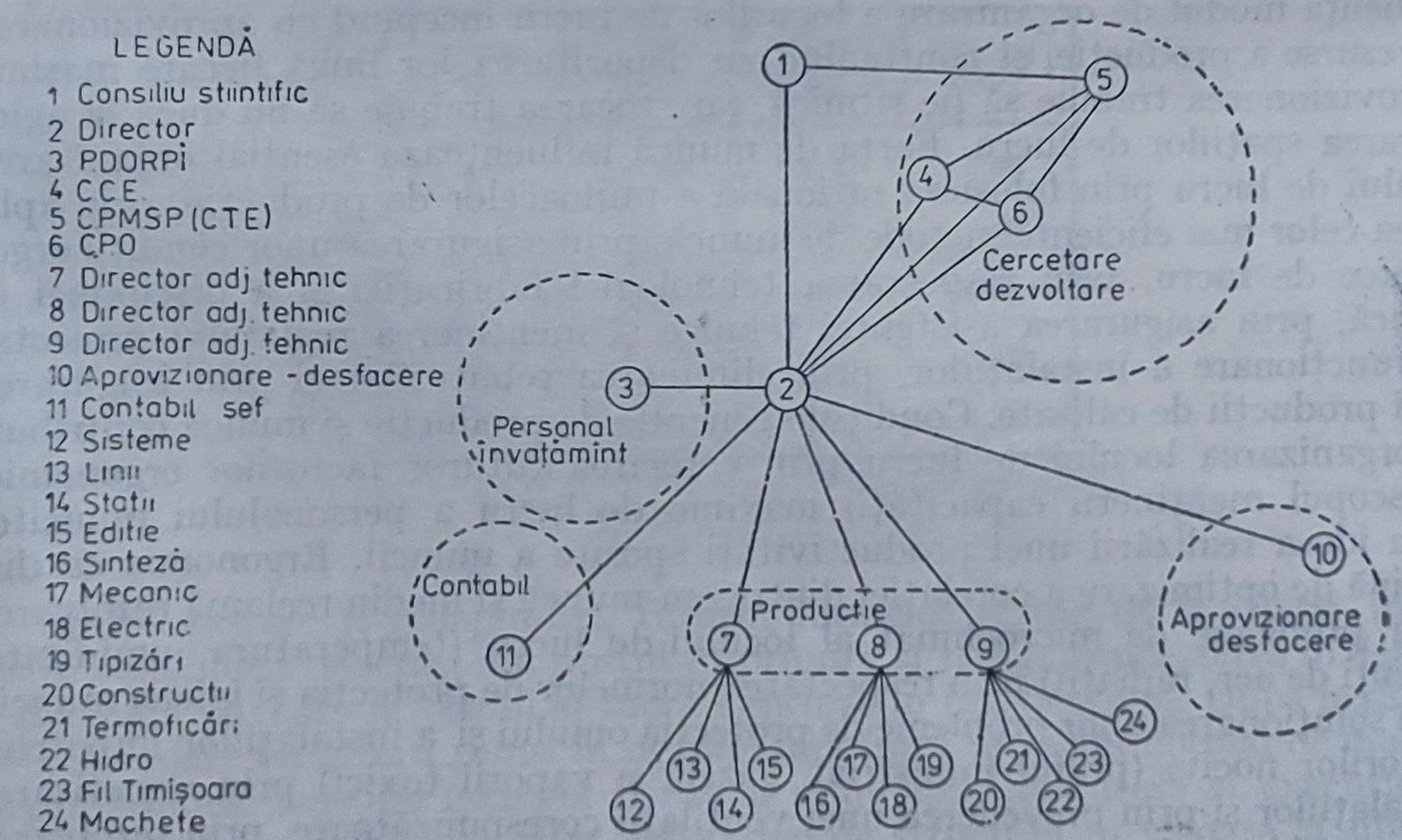


Fig. 5.7 b.
ORGANIGRAMA ISPE VARIANTA PROPUSĂ II.

probleme legate de coloritul încăperilor de lucru și a mobilierului de la fiecare loc de lucru (culori care favorizează creșterea dorinței de-a munci în liniște și într-un spațiu plăcut, realizarea unor scaune și mese ergonomice) a problemelor de deservire a locurilor de lucru inclusiv găsirea căilor de asigurare a resurselor și de evacuare a produselor realizate și a problemelor legate de protecția și igiena muncii (curățenia la fiecare loc de lucru, asigurarea echipamentelor de protecție etc.). Influențele culorilor asupra organismului uman se pot urmări ln tabelul (5.6).

TABELUL 5.6

Influența culorilor asupra activității umane

Culoarea	Efecte fiziologice	Efecte neuro-psihice
Roșu	— crește presiunea sanguină — ridică tonusul muscular — activează respirația	— culoare foarte caldă — stimulator general — stimulator intelectual — senzație de apropiere în spațiu
Portocaliu	— accelerează pulsațiile inimii — menține presiunea sanguină — favorizează secreția gastrică	— culoare caldă — stimulent emotiv — senzație de apropiere în spațiu foarte mare
Galben	— influențează funcționarea normală a sistemului cardiovascular	— culoare caldă — culoare foarte veselă — stimulează vederea — calmant al psihonevrozelor — senzație de apropiere în spațiu
Verde	— scade presiunea sanguină — dilată vasele capilare	— culoare foarte rece — culoare liniștitoare — facilitează deconectarea nervoasă — senzație de depărtare în spațiu — impresie de prospețime
Albastru	— scade presiuea sanguină — scade tonusul muscular — calmează respirația și frecvența pulsului	— culoare foarte rece — culoare liniștitoare — în exces conduce la depresiune — senzația de depărtare în spațiu
Violet	— crește rezistența cardio-vasculară — crește rezistența plămînilor	— culoare rece — culoare neliniștitoare — senzație de apropiere foarte mare în spațiu

Locurile de lucru se organizează în funcție de stuctura sistemelor analizate (structuri discrete, continue, hibride), tipul de fabricație (unicat, serie, masă); modul de lucru (individual, colectiv) și felul acționărilor (mecanic, automat, telecomandat), ținîndu-se seama de condițiile specifice fiecărui proces. Astfel în sistemele cu structură discretă organizarea vizează ergonomia execuției directe a fiecărui obiect al muncii pe cînd în cadrul sistemelor cu structură continuă (automatizată): sporește gradul muncii de supraveghere a instalațiilor.

În cadrul fabricației de unicate și a fabricației de serie efortul fizic are o pondere mai mare decît în cadrul fabricației de masă unde se creează premize de telecomandă a producției și de introducere a calculatoarelor de proces.

Proiectarea noilor locuri de lucru sau reproiectarea celor existente se face parcurgînd următoarele etape de lucru: analiza critică a condițiilor de muncă la locurile de lucru supuse studiului sub toate aspectele (gradul de tehnicitate, nivelul forței de muncă, metodele utilizate, înzestrarea cu scule și modul de dispunere a acestora în cadrul spațiului de lucru, tehnica de culegere a datelor, de transmitere a informațiilor și de recepționare a deciziilor, efectele acțiunilor declanșate la nivelul fiecărui lucrător etc.); stabilirea aspectelor noi care trebuie luate în considerație la proiectarea rațională a fiecărui loc de lucru. Astfel, se proiectează structuri noi pentru utilaje, se preconizează o nouă înzestrare cu scule, dispozitive, verificatoare, se raționalizează aprovizionarea așa fel ca circuitul materialelor să fie continuu, să se realizeze pe drumurile cele mai scurte, iar stocurile să se diminueze la nivelul cererii, se realizează o îmbinare armonioasă între resursele umane și cele materiale astfel ca utilajul să corespundă gradului lucrărilor, iar calificarea oamenilor să fie la nivelul cerințelor, se prevăd metode noi de prelucrare a resurselor în ideea creșterii continue a productivității muncii, reproiectarea condițiilor legate de ergonomia fiecărui loc de muncă, atît la nivelul relațiilor dintre oameni, pe baza principiilor psihologiei muncii, cît și în ce privește influența mediului (temperatură, umiditate, gaze nocive, nivel fonic, curățenie, iluminat, căi și mijloace adecvate de transport intern, asigurarea securității muncii etc.); testarea modelelor pentru optimizarea parțială sau totală a fiecărui loc de lucru în diverse condiții reprezentative de producție și extinderea aspectelor pozitive la majoritatea locurilor de lucru similare celor studiate.

Alegerea locurilor de lucru care trebuie reproiectate se face ținînd seama de condițiile tehnico-economice și de cele impuse de reacția personalului muncitor. Astfel, se supun reproiectării, locurile de muncă care constituie puncte de strangulare, cele care necesită un volum mare de muncă și au o eficiență sub cea calculată inițal. Experiența mondală arată că prin proiectarea unor locuri de muncă ergonomice se obțin productivități sporite și indici ridicați de eficiență a muncii. Astfel asigurarea unui iluminat corespunzător și armonizarea culorilor pereților din încăperilor de lucru în cazul montării aparaturii de automatizare a permis reducerea greșelilor de montaj cu 17% și creșterea productivității muncii cu 6%. Zgomotele puternice pot reduce productivitatea muncii cu circa 40%, mărind numărul erorilor la montaj cu circa zece ori față de situația normală (fără zgomote). Reducerea nivelului fonic (zgomotul) cu zece decibeli poate contribui la creșterea productivității cu circa 15%. O ventilație necorespunzătoare reduce productivitatea muncii cu circa 40%. Menținerea nivelului productivității la parametrii proiectați se face asigurînd la fiecare loc de lucru pentru fiecare muncitor un debit de aer de circa 12 m^3, care se înlocuiește de șase ori pe zi la o viteză de 15 m/minut în cazul încălzirilor artificiale și de 45 m/minut în timpul sezonului cald. Capacitatea de lucru a omului are o influență directă asupra creșterii productivității muncii dacă se respectă, din proiectarea locului de muncă, condițiile ergonomice, dacă personalul muncitor este supus pregătirii

În cadrul fabricației de unicate și a fabricației de serie efortul fizic are o pondere mai mare decît în cadrul fabricației de masă unde se creează premize de telecomandă a producției și de introducere a calculatoarelor de proces.

Proiectarea noilor locuri de lucru sau reproiectarea celor existente se face parcurgînd următoarele etape de lucru: analiza critică a condițiilor de muncă la locurile de lucru supuse studiului sub toate aspectele (gradul de tehnicitate, nivelul forței de muncă, metodele utilizate, înzestrarea cu scule și modul de dispunere a acestora în cadrul spațiului de lucru, tehnica de culegere a datelor, de transmitere a informațiilor și de recepționare a deciziilor, efectele acțiunilor declanșate la nivelul fiecărui lucrător etc.); stabilirea aspectelor noi care trebuie luate în considerație la proiectarea rațională a fiecărui loc de lucru. Astfel, se proiectează structuri noi pentru utilaje, se preconizează o nouă înzestrare cu scule, dispozitive, verificatoare, se raționalizează aprovizionarea așa fel ca circuitul materialelor să fie continuu, să se realizeze pe drumurile cele mai scurte, iar stocurile să se diminueze la nivelul cererii, se realizează o îmbinare armonioasă între resursele umane și cele materiale astfel ca utilajul să corespundă gradului lucrărilor, iar calificarea oamenilor să fie la nivelul cerințelor, se prevăd metode noi de prelucrare a resurselor în ideea creșterii continue a productivității muncii, reproiectarea condițiilor legate de ergonomia fiecărui loc de muncă, atît la nivelul relațiilor dintre oameni, pe baza principiilor psihologiei muncii, cît și în ce privește influența mediului (temperatură, umiditate, gaze nocive, nivel fonic, curățenie, iluminat, căi și mijloace adecvate de transport intern, asigurarea securității muncii etc.); testarea modelelor pentru optimizarea parțială sau totală a fiecărui loc de lucru în diverse condiții reprezentative de producție și extinderea aspectelor pozitive la majoritatea locurilor de lucru similare celor studiate.

Alegerea locurilor de lucru care trebuie reproiectate se face ținînd seama de condițiile tehnico-economice și de cele impuse de reacția personalului muncitor. Astfel, se supun reproiectării, locurile de muncă care constituie puncte de strangulare, cele care necesită un volum mare de muncă și au o eficiență sub cea calculată inițal. Experiența mondală arată că prin proiectarea unor locuri de muncă ergonomice se obțin productivități sporite și indici ridicați de eficiență a muncii. Astfel asigurarea unui iluminat corespunzător și armonizarea culorilor pereților din încăperilor de lucru în cazul montării aparaturii de automatizare a permis reducerea greșelilor de montaj cu 17% și creșterea productivității muncii cu 6%. Zgomotele puternice pot reduce productivitatea muncii cu circa 40%, mărind numărul erorilor la montaj cu circa zece ori față de situația normală (fără zgomote). Reducerea nivelului fonic (zgomotul) cu zece decibeli poate contribui la creșterea productivității cu circa 15%. O ventilație necorespunzătoare reduce productivitatea muncii cu circa 40%. Menținerea nivelului productivității la parametrii proiectați se face asigurînd la fiecare loc de lucru pentru fiecare muncitor un debit de aer de circa 12 m^3, care se înlocuiește de șase ori pe zi la o viteză de 15 m/minut în cazul încălzirilor artificiale și de 45 m/minut în timpul sezonului cald. Capacitatea de lucru a omului are o influență directă asupra creșterii productivității muncii dacă se respectă, din proiectarea locului de muncă, condițiile ergonomice, dacă personalul muncitor este supus pregătirii

profesionale sistematice, dacă se lucrează organizat, făcîndu-se apel la metode noi de muncă.

Organizarea transportului intern se face în ideea reducerii cheltuielilor totale care afectează costul produselor realizate. Este știut că transportul intern implică un volum mare de muncă, nu adaugă nimic la valoarea obiectelor muncii și mărește costul produselor cu circa 30%. Organizarea rațională a transportului intern implică amplasarea judicioasă a mijloacelor de producție, reașezarea depozitelor de materiale și produse finite astfel încît să rezulte o rețea optimă de mișcări în schema depozit-mijloc de transport-lucrător-mijloc de producție. Aceste idei se pot transpune în practică prin realizarea unui transport integrat la nivelul cerințelor producției. Transportul integrat are următoarele avantaje: permite reducerea costurilor de manipulare, înlesnește reducerea pierderilor de resurse, ceea ce duce la micșorarea cantității de aprovizionat, micșorează costurile de transport, dacă traseele de deplasare a resurselor sînt optimizate, creează condiții de introducere a automatizării muncilor grele și cu volum mare de muncă. Transportul intern se poate realiza continuu cu ajutorul benzilor transportoare sau se poate realiza discret cu unități distincte. Traseele de transport intern pot fi orizontale, verticale, oblice, ascendente și/sau descendente. Insalațiile de transport intern se pot pune în mișcare fie pe baza forței gravitaționale fie prin intermediul acționărilor electrice, fluidice sau pneumatice. Transportul intern în structură continuă se realizează cu ajutorul conveerelor aeriene și de sol, iar cel cu structură discretă se efectuează fie cu ajutorul cărucioarelor speciale telecomandate, fie cu ajutorul podurilor rulante dirijate manual sau pe bază de program cu comandă numerică. În cadrul sistemelor de energie transportul intern la nivelul unităților de proiectare și montaj are un caracter hibrid, fiind format atît din benzi pentru transportul continuu al resurselor cît și din unități pentru transportul discontinuu (poduri rulante, macarale etc.). La nivelul unităților de exploatare transportul cărbunelui în centrale se realizează pe benzi care leagă depozitul central de buncăre. Aprovizionarea centralelor cu cărbune din afară se face în transport discontinuu în vagoane care sosesc într-un anumit ritm la rampa de descărcare (estacada) și după descărcare părăsesc incinta întreprinderii intrînd în circuitul căilor ferate. Optimizarea organizării locurilor de muncă și a transportului intern se face prin minimizarea cheltuielilor totale implicate în realizarea acestor acțiuni ținînd seama de restricțiile impuse sistemului de mediu.

Normarea activității personalului muncitor (direct și indirect productiv) se face în funcție de specificul muncii, de tipul lucrărilor, de gradul de organizare a locului de lucru pe baza normativelor de muncă. Normativele de muncă reprezintă prescripții ce se fac pentru limite ale consumurilor de timp și de resurse, astfel ca productivitatea muncii, pentru lucrările analizate să fie în limite precalculate. Normativul se referă la timpul de muncă, la regimul tehnologic, la gradul de repetare a acțiunilor, la deservirea locurilor de lucru și la stabilirea numărului de lucrători necesar executării unui anumit volum de lucrări. Normativele de muncă se stabilesc cu relații de regresie liniară și exponențială în funcție de factorii de influență și de corelație de la nivelul fiecărui loc specific de lucru. Optimizarea normativelor de muncă se face prin minimizarea timpilor de așteptare pe baza metodei celor mai mici pătrate.

Normativele de timp se stabilesc pentru fiecare componentă a normelor de timp. Astfel se stabilesc normative pentru operațiile de pregătire-încheiere a lucrărilor, pentru operațiile de bază și cele auxiliare, pentru deservirea locurilor de lucru și pentru opriri reglementare (odihnă și necesități firești), opriri tehnologice etc. După stabilirea normativelor se trece la întocmirea normelor de muncă. Normele stabilesc cantitatea totală de muncă necesară pentru executarea unor lucrări sau pentru îndeplinirea unor funcții în condiții tehnico-economice determinate. Rolul normării muncii constă atît în creșterea productivității cît și în îmbunătățirea condițiilor de muncă. Productivitatea muncii reprezintă eficiența cu care sînt consumate resursele. Ea se calculează raportînd producția (fizică, respectiv valorică) la numărul de lucrători sau la timpul în care s-a realizat planul. La calculul productivității se poate utiliza atît producția globală cît și mai ales producția netă determinate pe sfere de activități și anume: cercetare-proiectare, construcții-montaj și exploatarea instalațiilor în cadrul proceselor discrete sau continue de producție. Productivitatea muncii la nivelul sistemelor de energie se calculează în proiectare și montaj, raportînd producția la numărul total al personalului muncitor, iar în exploatarea centralelor, stațiilor, liniilor și consumatorilor, de energie prin raportarea producției la timpul de funcționare al instalațiilor. Productivitatea muncii apare atît sub forma productivității individuale (la nivelul unui lucrător) cît și sub forma productivității sociale. Productivitatea muncii sociale exprimă eficiența consumului de muncă vie și materializată la nivelul tuturor verigilor de producție privită în concepție sistemică, adică de la stadiul resurselor primare pînă la realizarea produsului finit și valorificarea acestuia. Normele de muncă se pot clasifica astfel: normele de timp, norme de producție, norme de personal și norme de deservire. Norma de timp cuprinde timpul necesar executării unității de produs în condiții de folosire la maximum a experienței înaintate. Norma de producție precizează cantitatea de produse pe care trebuie s-o execute un lucrător în unitatea de timp, folosind la maximum experiența de producție înaintată. Norma de personal cuprinde numărul de lucrători pe grade de calificare și meserii pentru executarea colectivă a unei lucrări în condiții tehnico-economice determinate. Norma de deservire cuprinde sfera de atribuții care revine la un loc delimitat de muncă unui lucrător cu pregătire corespunzătoare pentru a executa sarcinile de producție în condiții de eficiență determinate prin plan. După sfera de aplicare deosebim: norme de muncă locale, norme de muncă departamentale și norme de muncă republicane. Din punct de vedere al complexității deosebim norme singulare pentru o singură lucrare și norme grupate pentru un grup de lucrări. Se mai deosebesc norme de folosire a timpului de lucru, norme de calitate a producției, norme de aprovizionare, norme de rentabilitate etc. Prin aceste tipuri de norme se urmărește reducerea timpului de muncă, utilizarea rațională a utilajului, reducerea pierderilor de resurse în timpul aprovizionării locurilor de lucru și creșterea rentabilității prin normarea mijloacelor circulante, creșterea vitezei de rotație a acestora și prin sporirea beneficiului. Normele de timp și cele de producție depind hiperbolic unele de celelalte. Norma de timp cuprinde următoarele elemente: timpul productiv (t_p) și timpul neproductiv (t_n). Timpul productiv este suma a trei timpi și anume: timpul de pregătire-

încheiere (t_{pi}), timpul operativ (t_{op}) și timpul de deservire a locului de lucru (t_{dl}). Legătura dintre acești timpi se exprimă astfel:

$$t_m = t_p + t_n; \quad t_p = t_{pi} + t_{op} + t_{dl}; \quad t_n = t_{ir} + t_{mn} + t_{in}$$
$$t_{op} = t_b + t_a; \quad t_{dl} = t_{dt} + t_{do}; \quad t_b = t^b_{man} + t^b_{mm} + t^b_{sf} \qquad (5\text{-}40)$$
$$t_a = t^a_{man} + t^a_{mm} + t^a_{sf}; \quad t_{ir} = t_{on} + t_{ta}; \quad t_{in} = t_i + t_d$$

în care: t_m = timpul de muncă; t_{ir} = timpul întreruperilor nereglementare; t_{mn} = timpul de muncă neproductiv; t_{in} = timpul întreruperilor planificate; t_b; t_a = timpul de bază (b) și auxiliar (a); t_{dt}; t_{do} = timpii de deservire tehnică (t) și organizatorică (o); t_{man}; t_{mm}; t_{sf} = timpii de lucru manual, manual mecanic și timpul de supraveghere; t_i; t_d = timpii de întrerupere reglementate independente (i) și dependente (d) de executant; t_{ta} = timpul de avariere.

Cînd obiectul muncii trece prin diverse stadii ale procesului de producție la timpul de muncă se mai adaugă timpul de transport, timpul de control și timpul de așteptare interoperații și cel de așteptare în depozit a produsului înainte de a fi expediat către beneficiar. Normele de timp se aplică în producția de unicate și de serie, iar normele de producție se aplică în producția de masă.

Metodele pentru măsurarea timpului de lucru a personalului muncitor sînt diferențiate pe tipuri de lucrători. Astfel, pentru măsurarea timpului de muncă a personalului din execuție se utilizează tehnicile MTM (MTM_1; MTM_2; MTM_3) iar pentru personalul tesa se utilizează tehnici speciale de măsurare a timpului fizic și intelectual de lucru pe baza procedeului MCD (Master Clarical Data).

Norma de timp pentru personalul tesa (tehnic, economic și alte specialități) are următoarea structură:

$$t_m = (t_p + t_n)_{f+i}; \quad t_p = (t_{pi} + t_{dl} + t_{op})_{f+i}$$
$$t_n = (t_{ir} + t_{mn} + t_{in})_{f+i}; \quad t_{dl} = (t_{dt} + t_{do})_{f+i};$$
$$t_{op} = (t_{primi} + t_{conv} + t_{drs} + t_{ti} + t_{preli})_{f+i}; \qquad (5\text{-}41)$$
$$t_{ir} = (t_{on} + t_{to})_{f+i}; \quad t_{in} = (t_i + t_d)_{f+i};$$
$$t_{preli} = (t_c + t_g + t_{ca} + t_s)_{f+i}.$$

în care: t_{primi} = timpul de primire a informației; t_{conv} = timp de convorbire; t_{preli} = timp de prelucrare a informației; t_{drs} = timp de deplasări pentru rezolvarea sarcinilor de serviciu; t_{ti} = timp de întreruperi; t_c = timp pentru citire; t_g = timp pentru gîndire; t_{ca} = timp pentru calcul și timp pentru scriere (t_s). Acești timpi cuprind durate pentru procesul fizic și cel intelectual ($f + i$) pentru executarea operațiilor. Operațiile executate de personalul tesa se grupează în trei categorii și anume: prima categorie cuprinde sarcinile care au frecvența mare de repetare, durată de timp redusă și constantă. Aceste sarcini au caracter de rutină și se regăsesc în activitatea de documentare și în cea de execuție a desenelor la proiectarea instalațiilor; în activitatea de contabilitate, secretariat și calculul retribuțiilor; în activitatea de depozitare și desfacere a produselor și în operațiile de aprovizionare cu resurse a sistemelor

industriale. Categoria a doua de lucrări cuprinde operațiile cu grad mare de repetare și durată de timp medie care variază de la un ciclu la altul de lucrări. Astfel de operații se regăsesc în metodologia de înregistrare și raportare a sarcinilor de plan, analiza normelor de consum de materiale și consum de muncă, în munca de control, în elaborarea instrucțiunioor de dezvoltare a sistemului industrial analizat etc. În grupa a treia se regăsesc operațiile cu frecvență redusă de repetare, durată de timp mare și variabilă de la o etapă la alta. Aceste operații se regăsesc în munca de concepere a obiectivelor energetice noi, în munca de elaborare a metodologiilor, în elaborarea temelor de cercetare și proiectare a obiectivelor etc. Măsurarea timpului de muncă pentru lucrările de birou se face cu ajutorul cronometrării, fotografierii, filmării și a observărilor instantanee în cadrul desfășurării procesului de muncă. Normativele de muncă pentru personalul tesa se stabilesc cu ajutorul următoarelor metode: metoda corelației factorilor de influență aplicabilă în două variante și anume: dependența liniară și exponențială a timpului de lucru de unul sau mai mulți factori de influență; metoda comparativă care confruntă realizările unei întreprinderi organizate cu realizările întreprinderii analizate. Pe baza acestor comparații se stabilesc noile normative de muncă. Altă tehnică utilizată pentru stabilirea normativelor de muncă a personalului tesa se referă la metoda optimizării graficelor. Metoda se aplică pentru dependențe lineare între normativul de timp și factorii de influență. Se compară graficele de variație a normativelor de timp, de personal a întreprinderilor eșantion cu alte întreprinderi și în urma unor calculații simple se stabilesc valorile normativelor aplicabile la unitățile analizate. Organizarea și dotarea locurilor de lucru pentru personalul tesa se face funcție de caracterul și volumul lucrărilor, cantitatea și dimensiunea echipamentelor de birou necesare executării unui anumit volum de muncă. Astfel după dotarea locurilor de lucru cu mobilier clasic și cu inventar de birou se stabilesc condițiile ergonomice de muncă privind temperatura, umiditatea, circulația aerului, iluminat, zgomot, relațiile dintre executanții care lucrează în același birou și aceeași unitate productivă, fluctuația personalului și modul de organizare a timpului de odihnă. Temperatura aerului în diverse locuri de lucru trebuie să fie între (16° ... 18°)C, iar umiditatea optimă 50% pentru munca de birou. Pentru fiecare lucrător de birou trebuie să se asigure 15 m^3 de aer care se împrospătează continuu. Iluminatul în birouri trebuie să respecte următoarele prescripții: iluminarea fluorescentă a birourilor va fi de 200 luxi la un metru deasupra pardoselii; pentru birourie de scris, desenat sau proiectat, iluminarea să atingă 300 luxi; pentru încăperile de primiri, iluminarea nu trebuie să depășească 150 luxi. Se evită iluminarea prin contrast puternic și iluminarea prin pîlpîire deoarece duc la orbire psihologică treptată. Fenomenul de orbire reprezintă senzația de jenă provocată de strălucirea orbitoare a luminii. Gradul de orbire se poate stabili pe baza constantei lui Hollyday calculabilă cu o relație de forma:

$$g = B^a \omega^c / B_c = B^{1,6} \omega^{0,88} / B_c \qquad (5\text{-}42)$$

în care:

$=$ strălucirea sursei; $B_c =$ strălucirea cîmpului din apropierea sursei; $\omega =$ unghiul solid sub care se vede sursa de lumină. Diverse valori ale gradelor de orbire indică tipul de orbire la care este expus lucrătorul de birou și

anume: $g = 600$ orbire pasihologică intolerabilă; $g = 150$ orbire psihologică neconfortabilă; $g = 35$ orbire psihologică admisibilă și $g = 8$ orbire psihologică imperceptibilă. În ceea ce privește zgomotul se acceptă un fond sonor de (60 ... 65) decibeli ca fiind adecvat desfășurării normale a activității de birou.

Orice muncă se normează și se retribuie în socialism funcție de calitatea și cantitatea lucrărilor efectuate. Retribuția (orară, lunară sau anuală) reprezintă expresia bănească a părții din produsul social care constituie produsul necesar pentru ridicarea nivelului de trai al oamenilor muncii. Repartiția după muncă creează posibilitatea cointeresării materiale pentru că permite îmbinarea intereselor personale cu cele ale societății. Această cale de retribuire a muncii stimulează interesul pentru calificarea lucrătorilor, creșterea productivității muncii și reducerea costurilor. Cointeresarea permite realizarea unei legături directe între cîștigul lucrătorilor, rezultatele muncii și răspunderea materială pentru executarea la timp și în condiții corespunzătoare a tuturor lucrărilor din plan. Retribuirea muncii se face pe baza tehnicii tarifare care diferențiază retribuțiile în funcție de calitatea muncii, nivelul calificării, gradul de răspundere și condițiile în care se prestează munca. Tehnica tarifară operează cu retribuții tarifare de calificare. Retribuțiile tarifare se specifică în nomenclator pentru toate meseriile în (lei/oră) sau (lei/lună) pentru cea mai slabă calificare. Rețeaua tarifară cuprinde o grupă de coeficienți cu care se înmulțesc retribuțiile tarifare de bază pentru a se obține clasa de încadrare a lucrătorului. Indicatoarele de calificare indică cunoștințele pe care trebuie să le aibă lucrătorul pus să execute anumite categorii de lucrări. Formele de retribuire a muncii se împart în două și anume: retribuirea în regie după timpul de lucru folosit la executarea unor lucrări și retribuirea în acord după cantitatea de produse realizate. Retribuirea în regie este singura formă de retribuție a lucrătorilor din procesele de aparatură. Pentru creșterea interesului lucrătorilor în executarea calitativă și la timp a muncii, retribuirii în regie i se mai adaugă premiile pentru realizări deosebite. Retribuirea în acord cuprinde următoarele tehnici: acord direct, acord progresiv, acord global, acord individual și acord colectiv. Această formă de retribuire se întîlnește frecvent în procesele cu structură discretă. Retribuirea personalului tesa se face în funcție de calitatea și cantitatea muncii depuse diferențiat pe ramurile economiei naționale ținînd seama de gradul sistemului industrial de producție și de importanța socială a muncii. Personalul tesa este cuprins în organigramele sistemului industrial pe diverse funcții la care se cer anumite condiții de studii și vechime. Cointeresarea personalului muncitor pentru creșterea eficienței muncii depuse se face prin acordarea de gradații și premii speciale prevăzute în legea retribuției după muncă.

5.3.5. Aspecte fenomenologice ale ingineriei valorii și ale teoriei deciziei

Funcția financiar contabilă operează cu ingineria valorii, ca bază a teoriei costurilor și cu teoria deciziei ca punct de declanșare a acțiunilor. Pe baza acestor teorii se reglementează întreaga activitate tehnologică și de organizare a sistemelor de energie și se asigură o corelație corespunzătoare între cost, eficiență și calitate.

Teoria costurilor desfășurată în concepție sistemică permite rezolvarea următoarelor probleme: sintetizarea cheltuielilor obiectivelor energetice ținînd seama de proiectare-montaj și exploatare cu ajutorul cercetării operaționale în ideea stabilirii prețurilor optime denumite și prețuri umbră; reproiectarea instalațiilor energetice pe baza ingineriei valorii urmărindu-se creșterea utilității fiecărui element component și reducerea pe baza analizei valorii a cheltuielilor de exploatare a sistemului energetic; exprimarea legăturilor raționale între costuri și prețuri și constituirea bazei politicii tarifare ca premiză a eficienței și calității producerii, transportului și utilizării energiei. Utilizarea ingineriei și analizei valorii pentru reducerea cheltuielilor din teoria costurilor reclamă aplicarea următoarelor principii: principiul concepției sistemice conform căruia fiecare obiectiv trebuie proiectat și analizat în raport cu ansamblul instalației în care va funcționa; principiul concepției funcționale conform căruia funcțiile obiective ale produselor trebuie să aibă o pondere mare în cadrul instalațiilor în raport cu cele subiective; principiul echilibrării costului cu valoarea de întrebuințare a produselor respectiv a instalațiilor noi și a celor în funcțiune. Prin aplicarea acestor principii se urmărește reducerea cheltuielilor, micșorarea consumurilor și creșterea valorii de întrebuințare a instalațiilor. Aceste deziderate se pot realiza dacă după faza de informare și creație se evaluează variantele și se selectează varianta optimă după care se urmărește implementarea în practică a soluției optimizate. Ingineria și analiza valorii permit eliminarea din structura cheltuielilor totale a costurilor nejustificate și înlesnesc obținerea unor corelații mai directe între dimensiunile tehnice ale produselor și valoarea lor economică. Aplicarea ingineriei și analizei valorii la proiectarea și exploatarea obiectivelor energetice din țara noastră s-a soldat cu economii de materiale (ciment, oțel etc.) și energie pe baza concepției noi de proiectare coroborată atît cu tehnologii noi de montaj cît și cu măsuri eficiente de reducere a consumurilor de resurse energetice. Astfel s-a trecut la proiectarea instalațiilor energetice prin: reproiectarea turnurilor de răcire; amplasarea în aer liber a unor cazane și agregate de mare putere; diminuarea distanțelor dielectrice de izolare și protecție; reducerea înălțimii stîlpilor la liniile electrice aeriene de înaltă tensiune; renunțarea la prizele artificiale de pămînt, etc. Schema logică privind îmbunătățirea obiectivelor energetice reproiectate pe baza ingineriei și analizei valorii se poate urmări pe figura (5.8).

Pe baza noilor orientări de calculare a structurii costurilor s-au pus în evidență cheltuielile de organizare și conducere atît pentru obiective care produc energia electrică (3,5%) cît și pentru instalații care produc energia termică (2,2%). Restul cheltuielilor sînt cele generate de aplicarea cercetării operaționale la proiectarea — montajul și exploatarea sistemelor de energie. Eficiența și calitatea activității energetice se determină pe baza indicatorilor naturali și valorici ținînd seama de conceptele mecanismului economico-financiar de la nivelul economiei naționale particularizate pentru proiectarea — montajul și exploatarea sistemelor de energie. Controlul prin leu a întregii activități energotehnologice se poate realiza pe baza programelor de calculator off si on line care calculează indicatorii de calitate și eficiență și stabilește competitivitatea producției interne în raport cu producția de energie de pe plan mondial.

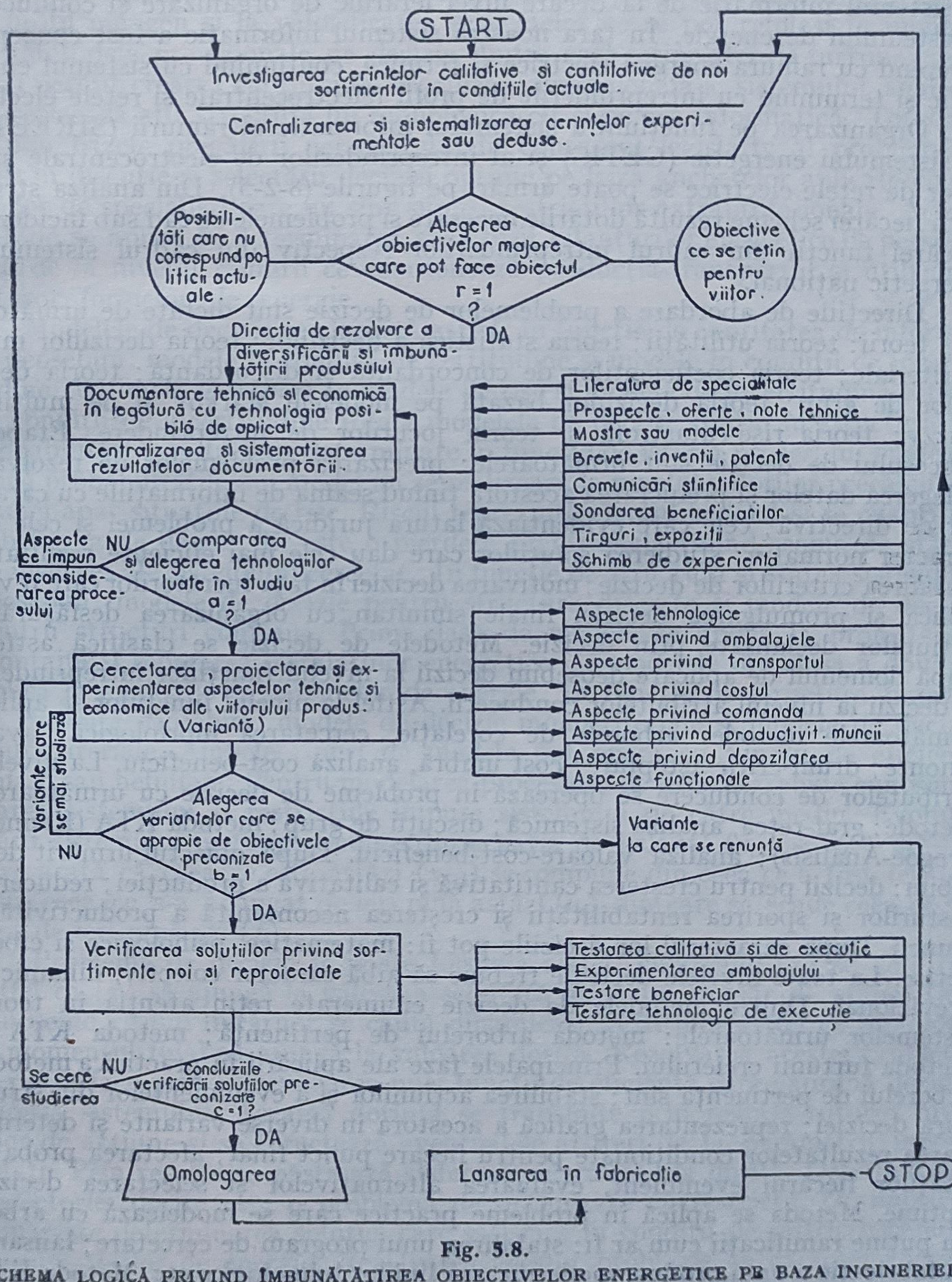


Fig. 5.8.

SCHEMA LOGICĂ PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA OBIECTIVELOR ENERGETICE PE BAZA INGINERIEI ȘI ANALIZEI VALORII.

Teoria deciziei permite selectarea variantei optime de acțiune pe baza indicatorilor de eficiență și calitate. Pentru construirea deciziei se face apel la sistemul informatic de la fiecare nivel ierarhic de organizare și conducere a sistemului de energie. În țara noastră sistemul informatic a fost conceput începînd cu ramura energiei electrice și termice, continuînd cu sistemul energetic și terminînd cu întreprinderile de profil (electrocentrale și rețele electrice). Organizarea pe funcțiuni a sistemului informatic al ramurii (SIREET); al sistemului energetic (GETIC) și al întreprinderilor de electrocentrale și a celor de rețele electrice se poate urmări pe figurile (8-2-5). Din analiza structurii fiecărei scheme rezultă dotările necesare și problemele ce cad sub incidența fiecărei funcții din cadrul întreprinderilor respectiv din cadrul sistemului energetic național.

Direcțiile de abordare a problemelor de decizie sînt dictate de următoarele teorii: teoria utilității; teoria statistică a deciziilor; teoria deciziilor multicriteriale; teoria coeficienților de concordanță și discordanță; teoria deciziilor de grup; teoria deciziilor bazată pe modelele Markov și pe mulțimi Fuzzy; teoria risc-catastrofă și teoria jocurilor de întreprindere. Etapele procesului de decizie sînt următoarele: precizarea problemelor de rezolvat, culegerea datelor și prelucrarea acestora ținînd seama de informațiile cu caracter de directivă; cele care evidențiază latura juridică a problemei și cele cu caracter normativ; studierea soluțiilor care dau cele mai eficiente rezultate, stabilirea criteriilor de decizie; motivarea deciziei în fața lucrătorilor care o vor aplica și promulgarea deciziei finale simultan cu organizarea desfășurării acțiunilor declanșate prin decizie. Metodele de decizie se clasifică astfel: după domeniul de aplicare deosebim decizii la nivelul funcțiilor întreprinderii și decizii la nivelul atributelor conducerii. Astfel la nivelul funcțiilor se aplică următoarele metode: arborele de corelație, cercetarea morfologică; avalamonte; drum-critic-așteptare; cost umbră, analiză cost-beneficiu. La nivelul atributelor de conducere se operează în probleme de decizie cu următoarele metode: graf-rețea, analiză sistemică; discuții de grup; metoda KTA (Kepner-Tregoe-Analisis); analiza valoare-cost-beneficiu. După obiectul urmărit deosebim: decizii pentru creșterea cantitativă și calitativă a producției; reducerea costurilor și sporirea rentabilității și creșterea necontenită a productivității muncii. După caracterul lor deciziile pot fi: matematice, psihologice și cibernetice. La toate nivelele deciziile trebuie să aibă caracter colectiv, dinamic și previzional. Dintre metodele de decizie enumerate reținatenția în teoria sistemelor următoarele: metoda arborelui de pertinență; metoda KTA și metoda furtunii creierului. Principalele faze ale aplicării în practică a metodei arborelui de pertinență sînt: stabilirea acțiunilor și a evenimentelor din structura deciziei; reprezentarea grafică a acestora în diverse variante și determinarea rezultatelor condiționate pentru fiecare punct final; afectarea probabilităților fiecărui eveniment, evaluarea alternativelor și selectarea deciziei optime. Metoda se aplică în probleme practice care se modelează cu arbori cu puține ramificații cum ar fi: stabilirea unui program de cercetare; lansarea în fabricație a unui produs; modernizarea liniilor tehnologice etc. Metoda KTA recomandă parcurgerea următoarelor faze de lucru pentru construirea deciziei: analiza situației care reclamă o anumită intervenție; depistarea cauzelor care au produs perturbații; alegerea variantelor de decizie și aplicarea prognozei

normative pentru soluția finală; construirea structurii informatice și a fluxului necesar aplicării deciziei optime. Metoda se aplică la optimizarea programelor de pregătire a cadrelor; la specializarea producției unor întreprinderi cu profil omogen și la valorificarea proiectelor ce se pot refolosi în montaj.

Metodele previzionale de decizie dintre care reține atenția furtuna creierului permit crearea cadrului de organizare previzională a sistemului analizat și precizează atît structura lui tehnologică cît și pe cea informatică. Totodată se pun bazele pregătirii personalului în contextul legislativ al problemelor puse în discuție și selectării deciziei optime pe baza anchetelor aplicate colectivelor de specialiști care nu sînt supuși restricțiilor extraprofesionale. Aceste metode se aplică la determinarea structurii bilanțurilor energetice de perspectivă de la nivelul ramurii ce coordonează producția-transportul și utilizarea tuturor formelor de energie.

Modelele de decizie se clasifică astfel: în funcție de cantitatea de informații deosebim: modele în condiții de certitudine și modele în condiții de incertitudine. Ultimele se împart în modele de risc și modele de incertitudine totală. În condiții de incertitudine totală modelele de decizie conțin în structura lor probabilități care trebuie determinate în funcție de istoria procesului modelat. Dacă probabilitățile din model nu se realizează la nivelul valorilor precalculate atunci apar situațiile de risc. Riscul reprezintă efectul nedorit și se cuantifică sub forma de daune. El este o pierdere previzională ținînd seama de stările de insucces ale sistemului cercetat. În funcție de structura și starea sistemului deosebim: modele de decizie pentru structuri discrete și modele de decizie pentru structuri continue. Prima clasă de modele se aplică la proiectarea, montajul și repararea instalațiilor energetice iar modelele din clasa a doua se aplică la exploatarea sistemelor de energie. În funcție de structura funcției de eficiență deosebim: modele de decizie monocriteriale și modele de decizie multicriteriale. Ambele tipuri de modele pot opera cu funcții de eficiență liniare sau neliniare. Pentru modelarea procesului de decizie trebuie cunoscută starea sistemului și restricțiile impuse sistemului de către mediu. Evoluția stării sistemului în timp decurge din ecuația de balanță ($x_{t+1} = x_t + u_t - f_t$) care arată că ceea ce este astăzi (x_{t+1}) se compune din ceea ce a fost ieri (x_t) plus ceea ce s-a adăugat de ieri pînă astăzi (u_t) din care se scade ceea ce s-a scos de ieri pînă azi (f_t).

Problema de decizie se poate formula astfel: cunoscînd (f_t) se cere (u_t) astfel ca (x_t) să ajungă la valoarea scontată după un număr de etape. Deci cunoscînd ritmul livrărilor se caută dinamica investițiilor astfel ca producția la momentul final să ajungă la valoarea dorită. Rezolvarea acestei probleme se poate face prin extremizarea unei funcții de eficiență care exprimă dorința impusă sistemului. Această dorință se transmite prin reacție tuturor nivelelor de acțiune și se corectează eventualele abateri de la parametrii precalculați. Prin reacție se păstrează sistemul pe traiectoria dorită. Determinarea traiectoriei dorite este o problemă de optimizare cu restricții. Optimizarea urmărește determinarea soluției care satisface în condiții de restricții cererea consumatorilor de energie. Rezolvarea acestor probleme cu caracter energetic se face cu un algoritm de decizie care cuprinde reguli de intervenție pentru ca sistemul condus să evolueze după dorința celui ce conduce sistemul. Utilizarea conceptelor din teoria sistemelor dinamice la proiectarea structurilor

de conducere se justifică prin nevoia de-a înțelege unde și cum se poate interveni prin algoritmul de decizie astfel ca evoluția sistemului să corespundă conceptului de satisfacere.

În teoria deciziei fiecare întreprindere este un sistem deschis a cărui existență este legată de fluxurile materiale și informaționale dintre sistem și mediu. Pe măsura introducerii în întreprindere a progresului tehnic apare necesitatea ameliorării relației informație-decizie în cadrul unei conduceri adaptabile la cerințele dezvoltării. Informația și decizia permit reglarea și autoreglarea funcționării sistemului astfel ca soluția de alimentare cu energie a consumatorilor să fie optimă din punct de vedere calitativ și cantitativ.

Cele mai uzuale modele matematice de decizie sînt: modelul Laplace; modelul Wald-Neuman; modelul Hurwicz; modelul Savage și modelele bazate pe teoria jocurilor strategice și a jocului de întreprindere. Modelul Laplace se aplică pentru găsirea soluției cu efect economic maxim cînd evenimentele au loc cu probabilități egale. Modelul Wald-Neuman operează cu criteriul minimax sau maxmin. Modelul Hurwicz operează cu criteriul minimax dar are în structura sa doi coeficienți de optimism respectiv de pesimism. Modelul Savage operează cu criteriul regretului (că nu s-a acceptat cea mai apropiată variantă de cea optimă) și se aplică astfel: se elaborează matricea efectelor economice după care se scrie matricea regretelor; matricea regretelor conține pe linii și coloane același număr de indicatori ca și cea inițială dar calcularea lor pe fiecare coloană se face scăzînd valorile curente din valoarea maximă. Soluția optimă se selectează aplicînd criteriul minimax matricei regretelor.

Construirea unei decizii optime reclamă omogenizarea echipei de decidenți și elaborarea seturilor de indicatori naturali (utilitate; productivitate) respectiv indicatori valorici (cost, tarif, beneficiu). Decidenții pot forma un grup omogen sau neomogen funcție de gradul de organizare al părerilor lor asupra obiectivelor și condițiilor de decizie. Omogenitatea echipei de decidenți se poate stabili plecînd de la conceptul de entropie folosind formula lui Watanabe pentru o echipă formată din trei specialiști $(x; y; z)$. $H_t = H(x) + H(y) + H(y) - H(x, y, z)$. S-a notat prin H entropia informațională la nivelul fiecărui decident și la nivelul întregii echipe $H(x; y; z)$. Cînd se urmărește adoptarea unei decizii bazată pe utilitate se face apel la teoria jocurilor strategice. Într-o situație care se referă la bogăție, utilitatea este egală cu logaritmul valorii numerice a acestei bogății. În teoria jocurilor conceptul de utilitate este mult mai larg decît noțiunea de cîștig și exprimă cuantificarea preferințelor și indiferențelor partenerilor de joc față de consecințele diverselor acțiuni. Necoordonarea preferințelor și indiferențelor decidenților duce la adoptarea deciziei cu o doză masivă de risc. Decidenții pot prefera riscul, pot fi indiferenți la risc sau pot avea aversiune la risc. Pentru a înțelege conceptele de preferință, indiferență și aversiune față de risc se introduce în teoria deciziei conceptul de echivalent monetar cert definit ca suma în schimbul căreia deținătorul unei loterii este dispus s-o cedeze unui cumpărător. Dacă cumpărătorul atribuie loteriei o sumă mai mare decît echivalentul monetar cert el denotă o preferință față de risc, iar dacă suma oferită este mai mică atunci el afișează o aversiune față de risc, fiind mai prudent. Cînd suma oferită este egală cu echivalentul monetar cert atunci cumpărătorul este indiferent la risc. Teoria jocurilor pentru adaptarea deciziilor în probleme proba-

bilistice apelează la analiza produsului (u_{ijk}; p_{ijk}) care cuprinde utilitatea (u) și probabilitatea (p) pentru acțiunile cu sumă nulă examinată de cei trei parteneri (i, j, k). Pentru jocuri cu sumă nenulă decizia se poate formula trecînd de la trei la patru jucători (unul fictiv) și transformînd jocul într-unul cu sumă nulă. În cadrul jocurilor de întreprindere se învață din școală modul cum se pot formula decizii analizînd pe modele simulate situația de perspectivă a sistemului cercetat. Problema este abordată pe funcțiuni și operează cu cheltuielile pentru realizarea unor anumite produse cheie în desfășurarea proceselor de producție. În astfel de jocuri există cinci echipe, cîte una pe fiecare funcție a întreprinderii și un coordonator de joc. Fiecare echipă studiază problemele din cadrul funcției ce îi revine și propune un algoritm de decizie privind funcționarea sistemului în contextul legăturii sale cu exteriorul. Eficiența echipei de decidenți se apreciază pe baza beneficiului realizat în perioada considerată.

Optimizarea organizării sistemelor de energie pe funcțiuni ținînd seama de aspectele fenomenologice ale teoriei cercetării operaționale reclamă construirea modelelor matematice pentru proiectarea-montajul și exploatarea instalațiilor energetice.

5.4. Modele matematice de optimizare a organizării sistemelor de energie

5.4.1. Modele matematice ale funcției de cercetare-dezvoltare

a) *Modele bazate pe predicatori liniari și neliniari*

$$P_{tl} = \left[(2M_t^{(1)} - M_t^{(2)}) + \frac{a}{a+1}(M_t^{(1)} - M_t^{(2)})\, t\right]$$

$$P_{tnl} = [V_t^{(0)} + V_t^{(1)}(t) + V_t^{(2)} t^2]$$

$$M_t^{(1)} = [ay' + (1-a)\, M_{t-1}^{(1)}]; \quad V_t^{(0)} = [3(M_t^{(1)} - M_t^{(2)}) + M_t^{(3)}] \qquad (5\text{-}43)$$

$$M_t^{(2)} = [aM_t^{(1)} + (1-a)\, M_{t-1}^{(2)}]; \quad V_t^{(1)} = \left[\frac{a(6-5a)M_t^{(1)} - 2a(5-4a)M_t^{(1)}}{2(1-a)^2}\right]$$

$$M_t^{(3)} = [aM_t^{(2)} + (1-a)\, M_{t-1}^{(3)}]; \quad V_t^{(2)} = \left[\frac{a^2M_t^{(1)} - 2a^2M_t^{(2)} + a^2M_t^{(3)}}{2(1-a)^2}\right]$$

b) *Modele bazate pe predicatori nesezonieri (ns) și sezonieri (s)*

$$P_t^{(ns)} = [\exp(V_t^{(0)} + V_t^{(1)})]; \quad P_t^{(s)} = \left[V_t^{(0)} + V_t^{(1)}t + V_t^{(2)}\frac{t^2}{2}\right] S_t$$

$$V_t^{(0)} = aY_t' + (1-a)\, V_{t-1}^{(0)}; \quad V_t^{(1)} = b(V_t^{(0)} - V_{t-1}^{(0)}) + (1-b)V_{t-1}^{(0)} \qquad (5\text{-}44)$$

$$V_t^{(0)} = \frac{aY_t'}{S_t} + (1-a)V_{t-1}^{(0)}; \; V_t^{(1)} = b(V_t^{(0)} - V_{t-1}^{(0)}) + (1-b)V_{t-1}^{(0)}$$

$$V_i^{(2)} = c(V_i^{(1)} - V_{i-1}^{(1)}) + (1-d)V_{i-1}^{(2)}; \quad S_t = \frac{dY_i'}{V_i^{(0)}} + (1-d)S_{t-g}$$

$$Y_i' = (a_0' + a_1't + a_2't^2 + \ldots + a_r't^r)$$

c) Modele bazate pe funcţii exponenţiale şi regresionale

$$X'(t) = X_1(1 - A\,e^{at})^3; \quad X''_{(t)} = X_1\,e^{-a/(t+b)}$$

$$X'''(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-8}^{t} e^{\frac{(u-a)}{2}}\,du \tag{5-45}$$

$$Y_1 = a + bt; \quad Y_2 = a + bt + ct^2; \quad Y_3 = (a + bt)^{1/2}$$

$$Y_4 = (a + bt)^{1/3}; \quad Y_5 = (a + bt + ct^2)^{1/3}; \quad Y_6 = ae^t$$

$$Y_7 = (at^2 + bt + c)^{-1}; \quad Y_8 = \frac{1}{t}(at^2 + bt + c); \quad Y_9 = kt(t + a)^{-1}$$

d) *Modele de căutare şi risc*

$$Z_{ct_d}^{d(pr)} = (C_{ct} + p_n I_{ct})^{d(pr)} = \left[\left(\frac{x_i^2 y_i + 1}{x_i}\right) + p_n(I_{er} + I_{ap} + I_{org})\right]^{d(pr)} \tag{5-46}$$

$$Z_{ct_c}^{d(pr)} = [C_{at}(y_i) \cdot p(y_i)\,dy_i + p_n I_{ct}(y_i)\,p(y_i)\,dy_i]^{d(pr)} =$$

$$= \left[\left(\frac{Y_i}{y_i} + y_i - 2Y_i\right)p(y_i)\,dy_i + p_n I_{ct}\right]^{d(pr)}$$

$$Z_{rc}^{d(pr)} = (C_{rc} + p_n I_{rc}) = f(V_{rc}); \quad V_{rc}^d = \sum_i p_i(V_{int} + V_{vest} + V_{com})_i$$

$$V_{rc}^c = q\left[c_{00}\int_{-\infty}^{yk} p_0(y)\,dy + c_{10}\int_{yk}^{+\infty} p_0(y)\,dy\right] + (1-q)\left[c_{01}\int_{-\infty}^{yk} p_1(y)\,dy + \right.$$

$$\left. + c_{11}\int_{yk}^{+\infty} p_1(y)\,dy\right]; \quad c = \left\| \begin{matrix} c_{00} & c_{01} \\ c_{01} & c_{11} \end{matrix} \right\|.$$

e) *Modele ale dezvoltării energeticii în concepţia ingineriei sistemelor pe baza teoriei investiţiilor*

e_1) Modele generale de investiţii

$$Z_{tac} = [Z_{tac}^{ep} + Z_{tac}^{em} + Z_{tac}^{ed}] = \text{minim}$$

$$Z_{tac}^{ep} = [Z_{tac}^{pl} + Z_{tac}^{rp} + Z_{tac}^{lf}] = \text{minim}$$

$$Z_{tac}^{em} = [Z_{tac}^{os} + Z_{tac}^{ro} + Z_{tac}^{pl}] = \text{minim} \tag{5-47}$$

$$Z_{tac}^{ed} = [Z_{tac}^{ap} + Z_{tac}^{re} + Z_{tac}^{di}] = \text{minim}$$

$$Z_{tac}^{th} = [Z_{rs} + Z_{ce} + Z_{le} + Z_{con} + Z_{tsm}]_{tac}^{pme} = \text{minim}$$

$$Z_{tac}^{d(pr)} = \left[\sum_i (1 + p_n)^{-i}(I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac}\right]^{d(pr)}$$

$$Z_{te}^{d(pr)} = [C_{te} + p_n I_{te})]^{d(pr)} = [p_e E_p + p_n i_{sp} \cdot P_i]^{d(pr)}$$

e$_2$) Modele specifice de investiții

$$Z_{tac_1}^{d(pr)} = \left[\sum_{i=1} I_i(1+p_n)^{-i} + \sum_{i=d+1}^{d'} C_t(1+p_n)^{-i} + \sum_{i=c+1}^{d'} P(1+p_n) - \right.$$

$$\left. - \sum_{t=d+1}^{d'} R_i(1+p_n)^{-i} - V_r(1-p_n)^{-d}\right] \qquad (5\text{-}48)$$

$$Z_{tac_2}^{d(pr)} = \left[\sum_i I_i(1+p_n)^{-i} + \sum_i C_i(1+p_n)^{-i} - \sum_i R_i(1+p_n)^{-i}\right]$$

$$Z_{tac_3}^{d(pr)} = \left[Z_{tac_2}^{d(pr)} + \sum_i P_{ni}(1+p_n)^{-i}\right]$$

$$V_{r_{tac}} = \sum_i V_i(1+p_n)^{-i}; \quad R_{tac} = (d-d')\,c_{am}\sum_i I_i(1+p_n)^{d'}$$

$$I_{tac}^{unif} = I_t\left[\frac{(1+p_n)^{d'}-1}{p(1+p)^{d'}}\right]; \quad C_{tac}^{unif} = C_t\left[\frac{(1+p_n)^{d'}-1}{p_r(1+p_r)^{d'}} - \frac{(1+p_n)^{t}-1}{p_n(1+p_n)^{t}}\right]$$

$$I_{tac}^{nunif} = [I_1f_1 + I_2f_2 + \ldots + I_nf_n]; \quad C_{tac}^{nunif} = [C_1f_1 + c_2f_2 + \ldots + c_{nfn}]$$

$$I_i = I_{pz} + I_{cs} = I_{sa} + I_{eo} + I_{ip} + I_{cr} + I_{cd} + I_{cs};$$

$$C_i = C_{pz} + C_{cs} = C_{cop} + C_{cs} = C_{sa} + C_{eo} + C_{cp} + C_{cr} + C_{cd} + C_{cs};$$

f) *Modele de prognoză a structurii și fluxului energetic*

f$_1$) Modele generate de prognoză energetică

$$Z_{tac}^{sf} = [Z_{tac}^{s} + Z_{tac}^{f}] = [Z_{tac}^{rc} + Z_{tac}^{lc} + Z_{tac}^{frp} + Z_{tac}^{fet}];$$

$$Z_{tac}^{s} = (Z_{tac}^{re} + Z_{tac}^{cs} + Z_{tac}^{le}); \quad Z_{tac}^{f} = Z_{tac}^{rp} + Z_{tac}^{ene} + Z_{tac}^{ent} + Z_{tac}^{afe}$$

$$Z_{tac}^{(d)} = b_{tac}\{(p_pC_p)^{lc} + (p_pC_p)^{rc} + C_{am}i[(I_pp_p)^{lc} + (I_pp_p)^{rc}]\} \qquad (5\text{-}49)$$

$$Z_{tac}^{(c)} = b_{tac}\left\{\int_{t_1}^{t_2}[[(p_p(t)\,C_p(t)]^{lc} + [p_p(t)\,C_p(t)]^{rc}]\,p\,[C_p(t)]^{rlc}\times\right.$$

$$\left.\times\,dp\,[C_p(t)]^{rlc} + \int_{t_3}^{t_4} c_{am}i\,[I_p(t)\,p_p(t)]^{rlc}\,p[I_p(t)]^{rlc}\,dp\,[I_p(t)]\right\}$$

f$_2$) Modele specifice prognozei structurii sistemului energetic

$$Z_{tac}^{CTHN} = [Z_{tac}^{CTE} + Z_{tac}^{CHE} + Z_{tac}^{CNE}] = Z_{tac}^{pz} + Z_{tac}^{ech} + Z_{tac}^{cs}]^{CTHN}$$

$$Z_{tac}^{CTH} = b_{tac}\left[\sum_m p_m i_m p_m n_{sm}(c_{fm}+1) + \sum_k (p_kc_k + p_{ik}i_k)\,n_{sm}t_{ni}^{p}B\right] +$$

$$+ b_{tac}[i_{sp}(1 + r_kc_f + p_kc_v)\,(P_{rf} - P_{rk})] = (Z_{tac}^{CTE} + Z_{tac}^{CHE});$$

$$B_i = \sum_m k_m^{p'}(a_mn_g + b_mn_{tm}P_m) \qquad (5\text{-}50)$$

$$Z_{tac}^{CNE} = b_{tac}\{P_i^{CNE}\cdot t_f\cdot n\,[c_A + r(c_A + c_B)] + P_i^{CNE}\cdot n\,[i_A + r(i_A - i_B)]\}$$

$$[Z_{tac}^{rlc} = Z_{tac}^{rc)} + Z_{tac}^{ls} + Z_{tac}^{co}] = [Z_{tac}^{pz} + Z_{tac}^{ech} + Z_{tac}^{cs}]^{rlc}.$$

Restricţiile pentru formarea modelelor de structură ale sistemului energetic au următoarele forme:

$$\sum_{m} (1 - c_{pt})\, k_d P_m n_{sm} \geqslant P_{cd} + \text{Prezervă}$$

$$\sum (1 - c_{pt})\, n_{lm}^{p} P_m n_{sm} \cdot t_m = E_l^P$$

$$\sum (1 - c_{pt})\, n_{lm}^{min} P_m n_{sm} \geqslant P_l^{mln} \qquad (5\text{-}51)$$

$$\sum \sum_{p} k_m^p (a_m n_g + b_m n_{tm} P_m)\, n_{sm} t_m^p < B_{cd}$$

$$0 < n_{sm} < 1 \quad n_{lm}^{min} < n_m^t < k_d$$

f_3) Modele specifice prognozei fluxului de energie

$$Z_{tac}^{fe} = b_{tac} \sum_{d} \sum_{e} \sum_{f} \sum_{g} \sum_{h} x_{defgh} \cdot p_{defgh} \cdot b_{defgh} = \text{minim} \qquad (5\text{-}52)$$

$$Z_{tc}^{d(p)} = (C_{tc}^{d(pr)} + p_n I_{tc}^{d(pr)}) = (p_e E_p + p_n i_{sp} P_i) = \text{minim}$$

Restricţiile tehnologice şi funcţionale au forma:

$$\sum_{f} \sum_{g} \sum_{h} x_{defgh} = E_{ed}; \quad \sum_{d} \sum_{e} \sum_{f} x_{defgh} \cdot b_{defgh} \gtrless R_{gh}^{v}$$

$$\sum_{k} \sum_{d} \sum_{e} \sum_{f} b_k x_{defgh} d_{defgh} \leqslant \sum V_{max}^{k}; \quad x_{defgh} \geqslant 0; \qquad (5\text{-}53)$$

$$E_p = E_{casnic} + E_{ind}, \quad P_i = \left(\frac{R_p}{100} + 1\right) P_{pv} = \left(\frac{R_p + 100}{100}\right)(aE_v + b + e_i)$$

$$E_{oasnic} = kN_1 \left[\sum_{i=1}^{1} \sum_{j=1}^{m} k_i k_{ij} c_{ij} + \sum_{i=j+1}^{r} k_i k_{ij} s c_{ij} k_r\right]$$

$$E_{ind_1} = E_0(1 + c_n \cdot 10^{-2})\, P_r; \quad E_{ind_2} = E_0\left(\frac{x_t - x_0}{x_0} C_e + 1\right) p_r$$

$$E_{ind_3} = a_3 + b_3 P_m; \quad E_{ind_4} = a_4 + b_4 P_g$$

$$B_t = x_{defgh} \cdot b_{defgh} = \sum_{i=1}^{k} C_{ot} \sum_{i=1}^{k} q_t$$

g) *Modele în teoria catastrofelor*

$$Z_{cst}^{tac} = [b_{tac}(C_{cs} - E_{ut}) + (I_{cs} + E_{sa}) - R_{os}^{tac}] = f(x; a; b)_{tac}$$

$$Z_{cst}^{tc} = [(C_{cs} - E_{ut}) + p_n(I_{cs} + E_{sa})] = f(x; a; b) \qquad (5\text{-}54)$$

Suprafaţa de comportament şi punctul de inflexiune se determină cu ajutorul ecuaţiei:

$$[x^3 + (E_{ut} + E_{sa})\, x + (E_{sa} - E_{ut})] = (x^3 + ax + b) \qquad (5\text{-}55)$$

$$x = C; \quad a = 0; \quad b = 0$$

în care: P_{tl}, P_{tnl} = predicatorii liniari (l) şi neliniari (nl); X_1 = nivelul iniţial de la care pleacă tendinţa de dezvoltare; u = variabilă de stare; σ = abate-

rea medie; A = constanta procesului; $(Y_1 \dots Y_{10})$ = mărimile căutate; k = = constanta procesului studiat; Z_{cta}; Z_{ctc} = cheltuielile privind căutarea celei mai pertinente informații pentru dezvoltarea sistemului analizat aplicabile structurilor discrete (d) și respectiv continue (c); C_{ct}; I_{ct} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru aplicarea teoriei căutării; x_i; y_i = variabilele controlabile și necontrolabile ale procesului supus dezvoltării; I_{er}; I_{ap}; I_{org} = = investițiile necesare eliminării erorilor; cele pentru prelucrarea informațiilor și cele pentru organizarea căutării; $p(y_i)$ = probabilitatea de estimare a valorii variabilei necontrolate; Y_i = valoarea medie probabilă a variabilei (y_i); Z_{rc} = cheltuielile totale pentru preluarea riscului (V_{rc}); V_{int}; V_{est}; V_{com} = = valoarea de întrebuințare; cea estetică și cea comercială; p = probabilitatea apariției riscului; q = probabilitatea apriori; $(1 - q)$ = probabilitatea aposteori; $p_0(y)$; $p_1(y)$ probabilitățile ca evenimentul (y_k) să apară în starea (0) respectiv (1) prin care trece sistemul; $\| c \|$ = matricea costurilor; y_k = numărul de observări; M_i = operatori de ajustare; V_i = tendințele dezvoltării; a, b, c, d = constantele procesului; t = orizontul prognozei; S_t — factor sezonier de influență; Y' = seria dinamică ajustată; $X'(t)$; $X''(t')$; $X'''(t)$ = mărimi căutate; Z_{tac} = cheltuielile totale actualizate exprimate în concepția ingineriei sistemelor pe baza teoriei investițiilor; Z_{tac}^{cp}; Z_{tac}^{cm}; Z_{tac}^{ed} = cheltuielile totale actualizate pentru realizarea noilor obiective sau pentru dezvoltarea celor în funcțiune la nivelele de cercetare-proiectare (cp); construcții montaj (cm) și exploatare-dezvoltare (ed); Z_{tac}^{pl}; Z_{tac}^{rp}; Z_{tac}^{lf} = cheltuielile totale actualizate pentru pregătirea lucrărilor de proiectare, inclusiv deplasările și cercetările pe teren (pl); cele pentru realizarea proiectului (rp) și cele pentru legătura cu furnizorii de echipamente și cu beneficiarii de investiții (lf); Z_{tac}^{os}; Z_{tac}^{ro}; Z_{tac}^{pt} = cheltuielile totale actualizate pentru montaj: organizarea șantierului ($oș$); realizarea obiectivului (ro) și efectuarea probelor tehnologice (pt). Z_{tae}^{ap}; Z_{tac}^{re}; Z_{tac}^{di} = cheltuielile totale actualizate necesare atingerii parametrilor proiectați (ap); realizării mersului economic (re) și modernizării unor părți a instalațiilor în funcțiune (di). Z_{rs}; Z_{ce}; Z_{le}; Z_{con}; Z_{ism} = cheltuielile exprimate în concepție sistemică pentru integrarea centralei electrice (ce) în sistem cu luarea în considerație a necesarului de combustibil (rs), a lanțurilor de legătură a obiectivului proiectat cu sistemul energetic (lc), a considerării consumatorilor ce trebuie alimentați (con) și a realizării problemelor de interfață dintre sistem și mediu (ism); I_i; C_i; D_i V_i; R_i = investițiile, cheltuielile de producție, daunele; venitul și valoarea remanentă; $Z_{tac}^{d(pr)}$ = cheltuielile totale actualizate deterministe (d) respectiv probabiliste (pr); Z_{tc} = cheltuielile totale anuale de calcul; C_{tc}; I_{tc} = cheltuielile de producție și respectiv investițiile; p_n = coeficientul normat de eficiența economică a investițiilor. P_{nt} = producția netă; V_r = valoarea reziduală; d, d' = durata de viață a obiectivului (d) și cea de studiu (d'); c_{am} = cota de amortizare; I^{unif}; I^{nunif}; C^{unif}; C^{nunif} = investițiile, respectiv cheltuielile eșalonate uniform și neuniform în timp; $f_1, \dots, f_n$ = binomuri de actualizare; I_{pz}; C_{pz}; I_{cs}; C_{cs} = investițiile propriu-zise (pz) inclusiv cele ale aplicării concepției sistemice (cs); I_{sa}; I_{eo}; I_{ip}; I_{cr}; I_{cd}; C_{sa}; C_{eo}; C_{ip}; C_{cr}; C_{cd} = investițiile, respectiv cheltuielile ocazionate de aplicarea în practică a cercetării operaționale (stoc-așteptare; echipamente-ordonanțare; inginerie umană — prognoză; căutare-risc; cost-decizie); I_{cop}; C_{cop} = investițiile, res-

pectiv cheltuielile în teoriile cercetării operaționale; Z^{s}_{tac}; Z^{f}_{tac} = cheltuielile totale actualizate de prognoza structurii sistemului și a fluxului energetic defalcate pe structura resurselor combustibile (*rc*); pentru liniile și consumatorii (*lc*) și pentru fluxurile de energie primară (*frp*) inclusiv energie transformată (*fet*); Z^{rc}_{tac}; Z^{cs}_{tac}; Z^{le}_{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru prognoza structurii surselor primare (*rc*); a centralelor și stațiilor (*cs*) și a lanțurilor energetice de la centrală pînă la consumatori (*le*). Z^{rp}_{tac}; Z^{ene}_{tac}; Z^{ent}_{tac}; Z^{afe}_{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru prognoza fluxurilor de resurse primare (*rp*); a fluxurilor de energie electrică (*ene*) și termică (*ent*) respectiv a fluxurilor provenite din alte forme de energie (*afe*). Structura sistemului supus prognozei poate fi discretă (*d*) respectiv continuă (*c*); b_{tac} = binomul de actualizare; p_p = probabilitatea de realizare a cheltuielilor și respectiv a investițiilor (C_p; I_p) în teoria prognozei sistemelor cercetate; c_{am} = cota anuală de amortizare; i = anii pe care se calculează amortizările; Z^{CTH}_{tac}; Z^{CNE}_{tac} = cheltuieli totale actualizate pentru prognoza structurii sistemului în cazul proiectării centralelor electrice (termo, hidro și nucleare). Z^{pz}_{tac}; Z^{ech}_{tac}; Z^{cs}_{tac} = cheltuieli totale actualizate propriu-zise (*pz*); de echivalare (*ech*) și cele pentru aplicarea concepției sistemice (*cs*) în prognoză; p_m = parametrul de variație al investițiilor specifice (i_m) pentru puterile prognozate (P_m) în cazul necunoscutei strategice (n_{sm}) care arată ce cotă trebuie instalată în sistem pentru acoperirea fără risc a vîrfului de sarcină; c_{fm} = cota cheltuielilor fixe; p_k = parametrul de variație al cheltuielilor specifice pentru combustibil (B) în timpul (t^{p}_{mi}) de acoperire a palierului (p) al curbei de sarcină rezultată din prognoză; p_{ik} = parametrul de variație al investițiilor miniere (i_k); i_{sp} = investiția specifică pentru asigurarea rezervei de putere — în sistem ($P_{rj} - P_{rk}$) rezultată ca diferență dintre puterea în varianta (j) și varianta (k); k^{p}_{m} = = coeficient de înrăutățire a consumului de combustibil la nivelul grupurilor energetice cînd acestea funcționează în afara regimului economic; a_m; b_m = consumurile de mers în gol (a_m) și cele specifice suplimentare (b_m); n_g = numărul de grupuri în funcțiune; n_{tm} = necunoscuta tactică echivalentă cu gradul de încărcare a grupurilor; P^{CNE}_{i} = puterea centralelor nucleare prognozată pentru acoperirea vîrfului maxim de sarcină; t_f = durata de funcționare a centralei nucleare; n = numărul centralelor nucleare din sistem; c_A; c_B; i_A; i_B = cheltuielile și investițiile specifice pentru centralele convertoare (A) și reproducătoare (B) nucleare; r = gradul de penetrație a centralelor reproducătoare în sistem; Z^{rlc}_{tac} = cheltuieli totale actualizate pentru prognoza resurselor, lanțurilor energetice și a consumatorilor (*rlc*) care cuprind cheltuielile propriu-zise (*pz*), cele de echivalare (*ech*) și cele pentru aplicarea concepției sistemice (*cs*); c_{pt} = consum propriu tehnologic; k_d = coeficientul puterii efectiv disponibile iarna (P_{ed}); P_{rez} = puterea în rezervă; E^{p}_{i} = energia necesară acoperirii palierului (p) al curbei de sarcină; P^{min}_{i} = puterea minimă cerută; B_{ed} = cantitatea de combustibil efectiv disponibilă; Z^{fe}_{tac} = cheltuieli totale actualizate pentru prognoza fluxului de energie; x_{defgh} = fluxul de energie provenit din sursa primară (d), transformat de centrala (e), transmis prin lanțul energetic (f) la consumatorul (g) sub forma utilizabilă (h); p_{defgh} = prețul unității de flux; b_{defgh} = inversul randamentului; p_e = prețul energiei produse (E_p); P_i = puterea instalată; E_{ed} = energia efectiv cerută; d_{defgh} = prețul în valută a unității de flux exportată; V^{k}_{max} = volumul

maxim de valută; E_{casnic}; E_{ind} = energia necesară gospodăriilor casnice și consumul industrial de energie (*ind*); N_1 = numărul de locuitori; k = ponderea locuitorilor încadrați în gospodării casnice față de numărul total de locuitori; k_i = ponderea locuitorilor care beneficiază de o anumită utilitate casnică; k_{ij} = ponderea locuitorilor care beneficiază de o anumită formă de energie (j) pentru utilizarea (i); (s; c_{ij}) = consumul specific de energie pe locuitor, ținînd cont de unitatea de suprafață (s); k_r = coeficientul de reducere a consumului specific de energie. E_0 = consumul de energie în anul de bază; c_n = creșterea anuală de consum care se realizează cu probabilitatea (p_r); x_t; x_0 = indicatori economici în anul (t) de prognoză și în anul de bază (0); c_e = coeficient de elasticitate; a_3; a_4; b_3; b_4 = coeficienți ai procesului studiat. P_m = productivitatea muncii; P_g = producția globală; B_t = consumul total de combustibil pentru producerea energiei (x_{defgh}); c_{oi} = cantitatea de resurse combustibile extrasă în primul an al exploatării; q = ritmul de creștere al extracției în timp; Z_{cat} = cheltuieli pentru aplicarea teoriei catastrofelor; E_{ut}; E_{sd} = eficiența (ut) și efortul (sd) din aplicarea teoriei catastrofelor la stabilitatea sistemului prognozat; a; b; = parametrii de control; x = variabila de stare.

5.4.2. **Modele matematice ale funcției comerciale (aprovizionare-desfacere)**

a) *Modele de stoc*

$$Z_s^d = \left[t_s c_s \sum_{c=0}^{s} (s - 0{,}5c)\, p(c) + t_s c_s \sum_{c=s}^{\infty} \frac{s^2}{2c}\, p(c) + \right.$$

$$\left. + c_p t_p \sum_{c=s+1}^{\infty} \frac{(c-s)^2}{2c}\, p(c) + p_n I_{(s)}^{(d)} \right] \qquad (5\text{-}56)$$

$$Z_s^c = \left[t_s c_s \int_0^s (s - 0{,}5c)\, p(c)\, dp(c) + t_s c_s \int_s^{\infty} \frac{s^2}{2c}\, p(c)\, dp(c) + \right.$$

$$\left. + t_p c_p \int_s^{\infty} \frac{(c-s)^2}{2c}\, p(c)\, dp\,(c) + p_n I_s^{(c)} \right]$$

Particularizarea acestor modele pentru ($s > c$) și ($s < c$) conduce la modele matematice de forma:

$$Z_s^d = \left[p_1 \frac{N_a}{n_1} + c_s t_s \frac{n_i}{2} + c_s t_s \sum_s (s - c)\, (p(c) + c_p t_p \sum_c \frac{(c-s)^2}{2c}\, p(c) + p_n I_s^d \right]$$

$$Z_s^c = \left[p_a \frac{N_c}{n_i} + 0{,}5 c_s t_s n_i + c_s t_s \int_0^s \left(s - \frac{c}{2} \right) p(c)\, \mathrm{d}p(c) + \right.$$

$$\left. + c_p \cdot t_p \cdot \int_s^{\infty} \frac{(c-s)^2}{2c}\, p(c)\, \mathrm{d}p(c) + p_n I_s^c \right] \qquad (5\text{-}57)$$

Funcția de eficiență a modelului anual de stocare sub o formă simplificată arată astfel:

$$Z_s = C_s + p_n I_s = \left[\frac{N_i c_b}{n_i} + 0{,}5 t_s c_s n_i + p_n I_s \right]; \qquad (5\text{-}58)$$

Comanda optimă de resurse și durata de reaprovizionare se calculează cu relații de forma:

$$n^d_{opt_i} = \left(\frac{2 N_i c_l}{t_s c_s} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad n^d_{opt_k} = \left(\frac{c_s + c_p}{c_p} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot n^d_{opt_i}$$

$$t^d_{ri} = \frac{n_{opt\,i} \cdot t_g}{N_i}; \quad t^d_{rk} = t^d_{ri} \left(\frac{c_s + c_p}{c_p} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$n^{pr}_{opt_i} = \left[\left(p_a \frac{N_d}{0{,}5 c_s t_s} \right)^{\frac{1}{2}} + (1{,}6 \ldots 2{,}4)\,\sigma \right] \qquad (5\text{-}59)$$

$$n_{opt_k} = \left[\left(p_a \frac{N_c}{0{,}5 c_s t_s} \right)^{\frac{1}{2}} + (0{,}5 - c_r)\,(V_{max} - V_{min}) \right]$$

$$S^{d(pr)}_t = \left[\frac{c_r}{r} (B_i - \bar{B})^2 + r n^{d(pr)}_{opt} + s_p \right]$$

Probabilitățile cererii se pot determina atît pentru sisteme cu structură discretă cît și pentru sisteme cu structură continuă cu relații de forma:

a_1) Probabilități pentru modele cu structuri discrete

$$P_p = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}; \quad P_p(t) = \frac{(\lambda t)^m \cdot e^{-\lambda t}}{m!}$$

$$P_{pc} = \left(1 - \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!} \right); \quad P_{pc}(t) = [1 - P_p(t)] \qquad (5\text{-}60)$$

$$P_b = C^n_m \cdot p^m \cdot q^{n-m}; \qquad P_{bc} = (1 - C^n_m \cdot p^m \cdot q^{n-m})$$

$$P_{ps} = \frac{n!\, p^r \cdot q^{m-r}}{m!\,(n-m)!}; \qquad P_{psc} = \left(1 - \frac{n! \cdot p^r \cdot q^{m-r}}{m!\,(n-m)!} \right);$$

a_2) Funcții de repartiții pentru modele cu structuri continue

$$f_{ex}(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}; \quad f_{wb} = (\alpha \cdot c \cdot x^{\alpha-1} - e^{-cx^2})$$

$$f_{ym} = \frac{x}{f(d)} \cdot \frac{x^{t-1}}{e^{\beta\alpha}}; \quad f_{ext} = X^{\alpha-1} (1 - x)^{(b-1)} \qquad (5\text{-}61)$$

$$f_{st} = \frac{(1 + 0{,}5x^2)^{-0{,}5(n+1)}}{2^{0{,}5(n-1)} \cdot f\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \sqrt{2\pi n}}$$

b) *Modele de așteptare*

$$Z_a^d = \left[t_d^f k_1 \sum_{n_f=S+1}^{ms} (n_f - S)\, p(n_f) + t_d^s k_2 \sum_{n_f=0}^{\infty} (S - n_f)\, p(n_f) + p_n I_a^d \right]$$

$$Z_a^c = \left[t_c^f k_1 \int_{n_f} (n_f - S)\, p(n_f)\, dp(n_f) + t_c^s k_2 \int_S (S - n_f)\, p(n_f)\, d_p(n_f) + p_n I_a^c \right]^{n_f}$$

$$Z_{a_1}^d = [(k_1 v + k_2 \rho) + p_n I_{a_1}^d]; \quad Z_{a_2}^d = [k_1 \lambda t_{af} + k_2 (S - \psi)\, t_s + p_n I_{a_2}^d]$$

$$Z_{a_3}^d = [k_1 t_f + k_2 \mu t_s + p_n I_{a_3}^d]; \quad Z_{a_4}^d = \left[\frac{k_1 t_a}{(\lambda - \mu)} + k_2 \mu t_s + p_n I_{a_4}^d \right]$$

$$Z_{a_5}^d = [k_1 n_f t_f + k_2 (S - \psi)\, t_s + p_n I_{a_5}^d];$$

$$Z_{a_6}^d = \left[\frac{k_1 t_f}{(1 - \psi)^2} + k_2 (1 - \psi)\, t_s + p_n I_{a_6}^d \right]; \quad Z_{a_7}^d = (k_1 t_f + k_2) \mu t_s + p_n I_{a_7}^d]$$

Ritmul optim de deservire (μ_{opt}) și factorul optim de serviciu (ψ_{opt}) se determină cu relații de forma:

$$\mu_{opt} = \left(\lambda + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right); \quad \psi_{opt} = \frac{\lambda}{\left(\lambda + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right)} \tag{5-62}$$

Elementele din șirul de așteptare (n_f) și valoarea lor medie ($\bar{v}$); timpul de așteptare (t_f), gradul de inactivitate a stațiilor (ρ) și probabilitățile apariției elementelor ce trebuie deservite $p(n)$ pentru una ($S = 1$) sau mai multe stații (S) se calculează cu relații de forma:

b_1) Intrări tip Poisson și serviri constante ($S = 1$)

$$\bar{n}_f = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2(\mu - \lambda)}; \quad v = \frac{\lambda^2}{2\lambda^2 (1 - \psi)}; \quad t_f = \left(\frac{\lambda}{2\mu(\lambda - \mu)} - \frac{1}{\mu} \right)$$

$$\bar{\rho} = \left(S - \frac{\lambda}{\mu} \right); \quad p(n) = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu} \right) \cdot \sum_k (-1)^{n-k} \left[\frac{(k\psi)^{n-k}}{(n-k)!} + \frac{(k\psi)^{n-k-1}}{(n-k-1)} \right]$$

b_2) Intrări tip Poisson și serviri constante ($S = 2$) $m =$ infinit

$$t_f = \sum_i e^{-i/\lambda\mu} \left[\sum_{n=S} \frac{(i\lambda/\mu)^n}{n!} - \frac{\mu S}{\lambda} \sum_{n=S+1}^{\infty} \frac{(n\lambda/\mu)^n}{n!} \right] \tag{5-64}$$

$$t_f = p(n) \cdot \frac{1}{\mu \left(S - \frac{\lambda}{\mu} \right)} \cdot \frac{S}{S+1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu} \cdot S \right)^{S-1}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu} \cdot S \right)^{S}}$$

b$_3$) Intrări și serviri de tip Poisson ($S = 1$)

$$n_f = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}; \quad t_f = \left[\frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu}\right]; \quad \bar{\rho} = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right); \quad \bar{v} = \frac{\lambda^2}{\mu} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\lambda}{\mu}}$$

$$p(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right); \quad p(0) = \bar{\rho} = (1 - \psi)$$

b$_4$) Intrări și serviri de tip Poisson ($S = 2$) în cascadă

$$\bar{n}_f = \frac{S(\lambda^2/\mu^2) + 4\psi}{3\psi^2 + 4\psi + 2}; \quad \bar{t}_f = \frac{1}{\lambda(m - n)} \sum_{n=S+1}^{m_s} (n_f \cdot S)\, p(n) \tag{5-65}$$

$$S_{ocupate} = \frac{4(\psi^2 + \psi)}{3\psi^2 + 4\psi + 2}; \quad p_{refuz} = \frac{3\psi^2 + 2\psi}{3\psi^2 + 4\psi + 2}$$

b$_4$) Intrări tip Poisson și serviri exponențiale ($S = 1$)

$$n_f = \frac{1 - p_0}{p_0}; \quad t_f = \frac{n}{\lambda} = \frac{1 - p_0}{\lambda - p_0}; \quad p_{(n)} = p_0(1 - p_0)^n. \tag{5-66}$$

b$_5$) Intrări tip Poisson și serviri exponențiale ($S = 2$)

$$n_f = \left(\sum_0^S n_f p(n) + \sum_{S+1}^{\infty} n_f p(n)\right); \quad \bar{t}_f = \sum_{n=1}^{S} (n_f - S)\, p(n) \frac{1}{S - \rho} \tag{5-67}$$

$$\bar{\rho}_f = \sum_{n=0}^{S} (S - n_f)\, p(n); \quad p(n) = C_{in}^n \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^n \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{m-n}$$

c) *Modele de marketing*

c$_1$) Elasticitatea cererii totale se determină pe baza relației venitului astfel:

$$E_v = E_{vq} + E_{vp} = \frac{q_1 p_1 - q_0 p_o}{q_0 p_0}; \quad \frac{\Delta V}{V} = \frac{q_1 p_1 - q_0 p_0}{q_0 p_0}. \tag{5-68}$$

$$E_x = \frac{\Delta y}{\Delta p} \cdot \frac{p}{y}; \quad E_y = \frac{\Delta y}{\Delta c} \cdot \frac{C_r}{y}; \quad E_z = \frac{\Delta V_{exp}}{\Delta W} \cdot \frac{W}{V_{exp}}$$

c$_2$) Gradul de concentrare a produselor pe piață (c_p) se calculează astfel:

$$c_p = \left[\sum_i P_i^2\right]^{1/2} = \sqrt{\sum_i P_i^2} \tag{5-69}$$

c$_3$) Indicele raportului de schimb și indicele de difuzie se calculează cu relații de forma:

$$I_{sch} = \frac{I_{export}}{I_{import}} = \frac{(\sum p_1 q_1 / \sum p_0 q_1)_{export}}{(\sum p_1 q_1 / \sum p_0 q_1)_{import}} \tag{5-70}$$

$$I_{atf} = \frac{(ag_c + bg_e + cg_r)}{n}$$

c_4) Coeficientul de elasticitate al cererii are forma:

$$c_{el} = \frac{c_{n-1}[100 + E'_x \Delta x]}{100} \tag{5-71}$$

Pe baza teoriei învățării se poate determina numărul de cumpărători potențiali care sînt atrași să achiziționeze un anumit produs în perioada T. Modelele de marketing în prognoza cumpărării unor anumite produse au următoarea structură markoviană:

$$S_{i,t} = [r_i S_{i,t-1} + I_{t-1}(1 - r_t) Z_{i,T}]$$

$$Z_{i,T} = \left[b_p \cdot \frac{P_i}{\sum_i P_i} + b_d \frac{D_i}{\sum_i D_i} + b_a \frac{A_t}{\sum_i A_i} + b_{pd} \frac{(PD)_i}{\sum_i (PD)_i} + \right.$$

$$\left. + b_{pa} \frac{(PA)_i}{\sum_i (PA)_i} + b_{da} \frac{DA}{\sum_i (DA)_i} + b_{pda} \frac{(PDA)}{\sum_i (PDA)_i} \right]$$

$$P_p = \frac{P_2}{(1 + P_2 - P_1)}$$

în care:

Z_s^d; Z_s^c = cheltuielile pentru gestiunea resurselor (achiziție; stocare; penurie); t_s; t_p = durata stocării (t_s) respectiv durata penuriei (t_p); s; c = stocul (s) și cererea (c) de resurse; $p(c)$ = probabilitatea cererii; p_n = coeficientul de eficiență; I_s^d; I_s^c = investițiile pentru organizarea aprovizionării cu resurse a întreprinderilor în structura discretă (d) și respectiv continuă (c); c_s; c_p = costurile de stocare (s) și de penurie (p); p_a = prețul de achiziție a resurselor; N_d; N_c = programul resurselor necesare producției pe o durată dată; n_i = lotul de resurse într-o comandă; c_1 = costul lansării; t_{ri}; t_{rk}; t_g = duratele de gestiune fără risc (i) cu risc (k) și durata totală de aprovizionare (t_g); σ = abaterea medie; c_r = coeficientul de risc; V_{max}; V_{min} = volumele maxim și minim de resurse din perioada analizată. S_t = stocul total determinist (d) respectiv probabilist (pr); r = numărul de comenzi pe perioada de aprovizionare; B_i; $\bar{B}$ = valoarea curentă (i) și valoarea medie a resurselor pe durata de gestiune; s_p = stocul de pregătire; P_p; P_{pc} = probabilitățile staționare Poisson directă (p) și complementară (pc); $P_p(t)$; $P_{pc}(t)$ = probabilități Poisson pentru regimul nestaționar; P_b; P_{bb} = probabilități de tip binominal în regim staționar; $P_b(t)$; $P_{bc}(t)$ = probabilități binomiale nestaționare directă (b) și complementară (bc); μ = ritmul sosirilor în sistem a unităților de resurse; m = numărul de unități în sistem; n = numărul de experimente; p; q = probabilitățile de succes și insucces din cadrul experimentelor efectuate; x = variabila aleatoare; f_{ex}; f_{wv} = repartiții de probabilitate exponențială (ex) și tip Weibull (wb); f_{gm}; f_{bt} = = repartiții tip gama (gm) și betta (bt); f_{st} = repartiție student; Z_a^d; Z_a^c = = cheltuieli cu așteptarea în scheme discrete (d) și respectiv continue (c); t_d^f; t_d^s; t_c^f t_c^s = timpii de așteptare în fir (f) și în stație (s) în scheme discrete (d) și respectiv continue (c); n_f = numărul de unități în firul de așteptare; m_s = numărul de unități în sistem; k_1; k_2 = costul unităților în fir (k_1) și a așteptării stațiilor pe unitatea de timp; S = numărul stațiilor de deservire; $p(n_f)$ =

= probabilitatea existenței în fir a unităților (n_f); I_a^d; I_a^c = investițiile pentru diminuarea așteptării în scheme discrete (d) și respectiv continue (c); ψ = factorul de serviciu; μ = ritmul servirilor; p_0 = probabilitatea existenței în sistem a cel puțin o unitate. E_v = venitul; E_{vq} = contribuția la venit datorită sporului de producție; E_{vp} = contribuția la venit datorită creșterii calității; q_1; q_0; p_1; p_0 = cantitățile comparate — (q) și prețurile (p) în perioadele de bază (0) și de plan (1); V = venitul în perioada de bază; ΔV = creșterea venitului în perioada de plan. E_x = elasticitatea cererii în funcție de vînzări (y) și preț (p); Δy = variația vînzărilor; Δp = variația prețurilor; C_r = cheltuielile cu reclama; V_{exp} = volumul exportului ținînd cont de variația acestuia (ΔV_{exp}); W = raportul valutar la variația acestuia (ΔW) în raport cu cursul oficial; P_i = ponderea grupurilor de mărfuri studiate în raport cu totalul mărfurilor de pe piață; I_{export}; I_{import} = indicii prețului mediu la export și respectiv de import; a, b, c = numărul indicatorilor în creștere (a); stagnați (b) și în regresie (c); g_c; g_e; g_r = modificările înregistrate la indicatorii analizați; n = numărul total al indicatorilor; c_{n-1} = = nivelul cererii în perioada anterioară analizei. E'_x = elasticitatea cererii în funcție de venit; Δx = creșterea în procente a venitului în perioada de bază față de perioada de plan. $S_{i,t}$ = vînzările tipurilor de produse (i) în perioada (t); r_i = probabilitatea de repetare a cumpărării unui anumit produs; $S_{i,t-1}$ = = vînzările pe piață în perioada anterioară celei analizate; I_{t-1} = vînzările ramurii industriale analizate în perioada $(t-1)$ pentru produsele livrate; r_t = rata medie de cumpărare a tuturor tipurilor de produse; $Z_{i,t}$ = probabilitatea cumpărătorilor potențiali care trec de la o marcă de produs la alta și care sînt atrași în perioada (t) ca un rezultat al acțiunilor de marketing în timpul (T); P_i = cota de cumpărători care sînt atrași de marca (i) de produs ținînd cont de preț; D_i; A_i = sînt cotele de cumpărători atrași de marca (i) de produse ținînd cont de distribuție și de reclamă; $(PD)_i$ = cota de cumpărători atrași cînd acționează simultan distribuția și prețul; b = factor de ponderare cu valorile (0 ... 1); (PDA) = cota de cumpărători atrași pe baza teoriei învățării cînd acționează simultan distribuția, prețul și reclama; $P_{1(2)}$=probabilitatea ca o anumită cantitate de cumpărători să preia produsele (i) în perioada (t) ținînd cont de indicele cumpărării repetate (P_i) și de perspectiva (P_p) unui produs de a fi preluat de mai mulți cumpărători în perioada (t).

5.4.3. Modele matematice ale funcției de producție

a) *Modele în teoria echipamentelor*

$$Z_a^d = \left\{\left[\sum_i C_{ai}p_{ai} + \sum_i \sum_j C_{ij}p_{ij} + \sum_i \sum_v C_{iv}p_{iv}\right] - p_n[(I_{ki}p_{ki} - V_{ri}p_{ri})]\right\}$$

$$Z_e^c = \left\{\int_{t_1}^{t_2} C_{ai}(t)\, p_{ai}[C_{ai}(t)]\, dp_{ai}[C_{ai}(t)] + \int_{t_3}^{t_4} [C_{ij}(t)]\, dp_{ij}[C_{ij}(t)] + \right. \qquad (5\text{-}73)$$

$$\left. + \int_{t_5}^{t_6} C_{iv}(t)\, p_{iv}(t)\, dp_{iv}[C_{iv}(t)]\right\} + \left\{\int_{t_7}^{t_8} p_n I_{ki}(t)\, p_{ki}(t)\, dp_{ki}\,[I_{ki}(t)]\right.$$

$$\left. - \int_{t_9}^{t_{10}} p_n V_{ri}(t)\, p_{iv}(t)\, dp_{iv}[V_{ir}(t)]\right\}$$

Particularizînd aceste modele generale pentru diverse situaţii practice se obţin relaţii de forma:

$$Z_{c_1} = \left[\left(C_{ai}^t \frac{ti}{t} + C_{ij}^t + C_{iv}^t\right)_1 + p_n I_{ki_1}\right]$$

$$Z_{c_2} = [C_{ai}^t(1 - e^{at})_2 + (C_{ij}^t + C_{iv}^t)_2 + p_n I_{ki_2}]$$

$$Z_{c_3} = [C_{ai}^t(1 - e^{at}) + k_0(e^{bt} - 1)_3 + p_n I_{ki_3}] \qquad (5\text{-}74)$$

$$Z_{c_4} = [(k_2' + C_{ai}^t \cdot k_1')_4 t_4 + p_n I_{ki_4}]$$

$$Z_{c_5} = \left[\left(k_2' + \frac{C_{ai}^t}{k_1'}\right) t_5 + p_n I_{ki_5}\right]$$

$$Z_{c_6} = \left[a\left(C_1 + \frac{C_2}{e^{at} - 1}\right) + p_n I_{ki_6}\right]$$

$$Z_{c_7} = \left[a_1 C_1 + \frac{C_2}{t} + p_n I_{ki_7}\right]$$

Uzura totală a utilajelor se calculează astfel:

$$U_t = [1 - U_f][1 - U_m] = \left[1 - \left(1 - \frac{V_r}{V_t}\right)\left(1 - \frac{V_0 - V_t}{V_t}\right)\right] \qquad (5\text{-}75)$$

Timpul (t_i) după care se înlocuiesc piese din cadrul lanţurilor tehnologice, coeficienţii de succes (c_s) şi insucces (c_{is}); numărul de refuzuri (n_{nr}) se determină astfel:

a) Lanţuri tehnologice cu elemente în serie

$$t_{i_1} = \left(\frac{V_0}{0{,}5V_r}\right)^{1/2} = t_t \cdot p_{av}; \quad c_s = \frac{t_s}{(t_{is} + t_s)}; \quad c_{is} = \frac{t_{ir}}{(t_{is} + t_s)}$$

$$n_{rf_1} = \left[\frac{t_s^2}{(t_s + t_{is})^2}\left(1 - e^{\frac{t_s + t_{is}}{t}}\right) + 1\right] \qquad (5\text{-}76)$$

b) Lanţuri tehnologice cu două elemente în paralel

$$c_s = \frac{(1 + g_{s1} + g_{s2})}{(1 + g_{s1})(1 + g_{s2})}; \quad c_{is} = \frac{g_{s1} \cdot g_{s2}}{(1 + g_{s1})(1 + g_{s2})}$$

$$n_{rf_2} = \frac{(g_{s1}c_{s1} + g_{s2}c_{s2})}{(1 + g_{s1})(1 + g_{s2})}; \quad g_s = \frac{E_c - E_{nc}}{E_c}$$

Momentul înlocuirii agregatelor şi a pieselor componente se determină cu o relaţie de forma:

$$Z_a^{(t+1)} > \frac{I_{ki}^t + \sum_i g_a^{(t-1)} \cdot C_{ki}^t}{(1 + g_a^t)} \qquad (5\text{-}78)$$

Particularizarea modelelor generale ale teoriei echipamentelor pentru sistemele energetice cu structură discretă și structură continuă duce la următoarele relații:

$$Z_e^d = \Big[\sum_k \sum_i m_{ki} \cdot c_{ki} p_{ki} + \sum_i \sum_j C_{ij} p_{ij} + \sum_i \sum_v (p_{iv} c_{iv} P_{iv} t_{iv} + \\ + C_{iv}^{ud} p_{iv}) + p_n \sum_k \sum_i I_{ki} p_{ki} - p_n \sum_i V_{ri} p_{ri}\Big] \tag{5-79}$$

$$Z_e^c = \int_{t_1}^{t_2} m_{ki}(t)\, c_{ki}(t)\; p_{ki}(t)\, dp_{ki}\,[m_{ki}(t)\; c_{ki}(t)] + \int_{t_3}^{t_4} c_{ij}(t)\; {}_{ij}p(t) \times$$

$$\times\, dp_{ij}\,[c_{ij}(t) \cdot p_{ij}(t)] + \int_{t_5}^{t_6} c_{iv}(t)\; p_{iv}(t) \cdot E_{en}(t) \cdot dp_{iv}\,[c_{iv}(t) \cdot p_{iv}(t) \cdot E^{en}(t)] +$$

$$+ \int_{t_7}^{t_8} c_{ij}^{nd}(t) \cdot p_{ij}(t)\, dp_{iv}\,[c_{iv}^{nd}(t)\; \underset{iv}{p}(t)] + \int_{t_9}^{t_{10}} p_n [I_{ki}(t) -$$

$$- V_{ri}(t)]\, dp_{iv}\,[I_{ki}(t) \cdot p_{ki}(t) - V_{ri}(t) \cdot p_{iv}(t)]$$

Modelele pentru optimizarea structurii echipamentelor la nivelul centralelor electrice de termoficare se pot scrie sub următoarele forme:

$$Z_{ed}^{CET} = \Big[\sum_f (m_f c_p p_{ki} + P_f t_f q_{is} p_c^e + Q_f t_f q_{is} p_c^q) + p_n I_{ed}^{CET}\Big]$$

$$Z_{ec}^{CET} = \Big[\int_{t_1}^{t_2} m_f(t)\, c_f(t)\, p_f(t)\, dp\,[m_f(t)\, c_f(t)] + \tag{5-80}$$

$$+ \int_{t_3}^{t_4} E_f(\iota)\, p_c(t)\, dp_c[E_f(t) \cdot p_c(t)] + \int_{t_5}^{t_6} Q_f(t)\; t_f p_c^q(t)\, dq_{is} \times$$

$$\times\, [Q_f(t)\; t_f p_c^q(t)] + p_n I_{ec}^{CET}\Big]$$

Modelele pentru optimizarea structurii echipamentelor la nivelul liniilor, stațiilor și consumatorilor de energie

$$Z_{ed}^{lsc} = [C^{lsc} + p_n I^{lse}] = [(C_e^{ls} + C_e^c) + p_n (I_e^{ls} + I_e^c)] =$$

$$= \{[(p_{am}^{ls} + p_{int}^{ls} + p_{re}^{ls})]\, I_t^{ls} + s_{rf} m_{av}^{ml} + k_{vp}^c P_f t_{is} p_c^{en} + C_{exp}^{cl} +$$

$$+ C_{int}^c + C_{teh}^c + C_{av}^c + p_n (I_e^{ls} + I_e^c)\} \tag{5-81}$$

$$Z_{ec}^{lsc} = \Big\{\int_{t_1}^{t_2} [C_e^{ls}(t) + C_e^c(t)]\, p\, [C_e^{ls}(t) + C_e^c(t)]\, dp\, [C_e^{ls}(t) + C_e^c(t)] +$$

$$+ \int_{t_3}^{t_4} p_n\, [I_e^{ls}(t) + I_e^c(t)]\, p\, [I_e^{ls} + I_e^c(t)]\, dp\, [I_e^{ls}(t) + I_e^c(t)]\Big\}$$

b) *Modele în teoria ordonanțării*

$$Z_o^d = \left\{\sum_p f[x(t)]_p\, p\,[x(t)] + c_s \sum_p [P(t) - C(t) + S(t)]\, p\,[C(t)] + \right.$$
$$\left. + c_p \sum_p [C(t) - P(t) + S(t)]_p\, p\ [C(t)] + p_n p_o I_o^d \right\} \qquad (5\text{-}82)$$

$$Z_o^c = \left\{\int_{t_1}^{t_2} f[x(t)]\, p\,[x(t)]\, \mathrm{d}p\,[x(t)] + c_s \int_{t_3}^{t_4} [P(t) - C(t) + S(t)]\, p\,[C(t)] \times \right.$$
$$\left. \times\, \mathrm{d}p\,[C(t)] + cp \int_{t_5}^{t_6} [C(t) - P(t) + S(t)]\, p\,[C(t)]\, \mathrm{d}p\,[C(t)] + p_n p_o I_o^c \right\}$$

Modele simplificate de ordonanțarea producției se pot scrie astfel:

$$Z_o^d = \left[\sum_v \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l t_{vijkl} \cdot x_{vijkl} \cdot p_{vijkl} p_o + p_n \cdot p_o I_o\right]$$

$$Z_o^c = \left[\int_t p_o(t) \cdot t_{vijkl} \cdot x_{vijkl}(t) \cdot p_{vijkl}(t) \cdot dp_{vijkl}(t) + \right.$$
$$\left. + \int_t p_n p_o(t)\, I_o^c(t)\, dp_o(t)\right] \qquad (5\text{-}83\ a)$$

$$Z_o^d = Z_B^d + Z_C^d + Z_D^d = [(C_B + C_C + C_D)^d + p_n(I_B + I_C + I_D)^d]$$

$$Z_o^{BCD} = [(p_c^c \cdot n_c \cdot B_h t_f + p_e^{en} P_f^{en} \cdot t_{is} + C_{uc}^f + C_D) + p_n(I_B + I_C + I_D)]$$

c) *Modele de producție pentru structuri complexe*

$$F_{cd}[x(t)] = A \cdot F_m^{e_1} \cdot F_p^{e_2} \cdot e^{rt}; \quad F_{rs}[x(t)] = \frac{F_m^2 \cdot F_p^2}{e_1 F_p^3 + e_2 F_m^3}$$

$$P_{n_1} = (P_G - C_m); \quad P_{n_2} = d_{sp} E_{n_1}; \quad P_{n_3} = (s d_{sp} P_{int} t_{nf} +$$
$$+ a d_{exp} P_{exp} t_{nf} + V_{pin} s + 0{,}5 s V_{p\,ext})$$

$$b_{CTE}^{(1)} = bcz(b_{tb} + b_{si}); \quad b_{CTE}^{(2)} = \frac{b_{cz}(b_{tb} + b_{sct})}{(1 - b_{sic})}$$

$$b_{cz} = \frac{\mathrm{d}B_h}{\mathrm{d}Q_h}; \quad b_{tb} = \frac{\mathrm{d}Q_h}{\mathrm{d}P_h}; \quad b_{si} = \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}P_{si}}$$

$$b_{CTE}^{cr} = \frac{b_{CTE}^{1(2)}}{1 - \sigma - \gamma}; \quad b_{CTE}^{CHE} = \frac{b_{CTE}^{cr} \cdot l}{1 - \sigma - \gamma} \qquad (5\text{-}83\ b)$$

$$B_h = [a_{cz_0} + b_m Q_m + b_{ec} Q_{ec} + b_M Q_M] = f(Q)$$

$$Q_h = [a_{gro} + b_1 P_{ec} + b_2(P - P_{ec})] = f(P)$$

$$\sigma = \left[\frac{2}{S_T} \cdot \frac{\Delta P}{100}(P_{CTE} + P_g) + \frac{2r}{U^2}(k_c P_{CTE} + P_c)\right]$$

$$\gamma = \left[\frac{2}{S_T} \cdot \frac{\Delta Q}{100}(Q_{CTE} + Q_g) + \frac{2x}{u^2}(k_r Q_{CET} + Q_c)\right]$$

Pentru proiectare, montaj și reparații se mai folosesc modelele matematice de tip PERT și DRUM CRITIC precum și funcțiile de transfer cu transformate Laplace și Z.

d) *Modele privind controlul calității producției*

$$Z_{cc}^{d(pr)} = [C_{cc} + p_n I_{cc}]^{d(pr)}; \quad Z_{cc}^{tac} = [I_{cc}^{tac} + C_{cc}^{tac} - R_{cc}^{tac}]^{d(pr)}$$

$$I_{cc} = \sum_{j=1}^{n} I_{ij}; \quad C_{cc} = \sum_{j=1}^{n} C_{ij} = 317 \cdot 10^{-3} N \left(c_p + c_r \frac{1}{q} + \frac{t_0 b}{t_p q} \right) \tag{5-84}$$

Probabilitățile de succes (P_s) și insucces (Q_{ins}) ca parametrul preciziei (H) să fie cuprins între limitele de control superioare (LCS) și inferioară (LSI) se calculează astfel:

$$P_s(LCI \leqslant H \leqslant LCS) = (1 - \alpha); \quad Q_{ins}(LCI \leqslant H \leqslant LCS) = \beta \tag{5-85}$$

Limitele inferioare și superioare (LCI și LCS) se calculează cu diverse metode dintre care reținem relațiile metodei medianei și amplitudinii.

a) Abaterea medie patratică este cunoscută

$$LCI = \left(TC - 1{,}2533 Z_\alpha \frac{\sigma_a}{\sqrt{n}} \right) = (TC - \sigma_a C)$$

$$LCS = \left(TC + 1{,}2533 Z_\alpha \frac{\sigma_a}{\sqrt{n}} \right) = (TC + \sigma_a C) \tag{5-86}$$

b) Abaterea medie pătratică este necunoscută

$$LCI = \left(TC - 1{,}2533 Z_\alpha \frac{R}{a_n \sqrt{n}} \right) = (TC - \overline{RD})$$

$$LCS = \left(TC + 1{,}2533 Z_\alpha \frac{\overline{R}}{a_n \sqrt{n}} \right) = (TC + \overline{RD}) \tag{5-87}$$

În cadrul controlului secvențial modelele de decizie pentru acceptarea sau respingerea loturilor mari au următoarele forme:

$$\frac{p_{2n}}{P_{1n}} \leqslant \frac{\beta}{1 - \alpha} \rightarrow \text{Decizie de acceptare a lotului;}$$

$$\frac{p_{2n}}{p_{1n}} \geqslant \frac{1 - \beta}{\alpha} \rightarrow \text{Decizie de respingere a lotului;} \tag{5-88}$$

$$\frac{\beta}{1 - \alpha} < \frac{p_{2n}}{p_{1n}} < \frac{1 - \alpha}{\alpha} \rightarrow \text{Sondajul continuă}$$

Deciziile de acceptare sau respingere a loturilor operează cu modele de probabilități construite în funcție de tipul controlului. În care: Z_e^d; Z_e^o = cheltuielile în teoria echipamentelor pentru sisteme discrete (d) respectiv continue

(*c*) ; C_{ai}, C_{ij}, C_{iv} = cheltuielile cu achiziția (*ai*), cu întreținerea și reparația (*ij*) și cel de preluarea avariilor (*iv*) ; p_{ai} ; p_{ij} ; p_{iv} = probabilitățile de realizare a acestor cheltuieli ; p_n = coeficientul de eficiență economică normat ; I_{ki} ; V_{ri} ; p_{ki}, p_{ri} = investițiile (I_{ki}) ; valoarea remanentă (V_{ri}) și probabilitățile de realizare a valorii lor ; t_1, ..., t_{10} = duratele ce limitează intervalele de variație a variabilelor. (Z_{e1} ... Z_{e7}) = cheltuielile în teoria echipamentelor pentru cele mai frecvente situații întîlnite în practică ; t_i = durate de perturbare a funcționării utilajelor analizate ; a, b, k_0, a_1, k_1, k_2 = constante ale procesului supus analizei ; c_1 și c_2 = cheltuieli de exploatare a utilajului. U_t, U_f, U_m = uzurile totală (*t*) ; fizică (*f*) și morală (*m*). V_r, V_i = valoarea reziduală (*r*) și cea inițială (*i*), t_s, t_{is}, t_t = duratele de succes (*s*), de insucces (*is*) și durata totală (t_t) ; g_{s1} ; g_{s2} = gradele de siguranță în funcționare înainte și după avarie. E_c = energia livrată consumatorilor ; E_{n1} = energia nelivrată ; $Z_e^{(t+1)}$ = cheltuielile totale în teoria echipamentelor la momentul ($t + 1$) ; I_{ki} = investițiile la momentul (t) ; C_{ki} = cheltuielile de producție la momentul (t) ; g_e = binom de actualizare m_{ki}, c_{ki} = produsul dintre numărul elementelor din lanțul tehnologic avariat și costul fiecăruia în momentul apariției avariei cu probabilitatea (p_{ki}) ; c_{iv} = costul energiei nelivrate ; $P_{iv}t_{iv}$ = energia nelivrată = E_{iv} ; q_{is} = probabilitatea de insucces, m_f = numărul elementelor în funcțiune ; c_f = costul fiecărui element (*f*). $P_f t_f$ = = E_f = energia furnizată ; p_c^{en} = prețul energiei nelivrate ; Q = debitul de abur furnizat ; p_c^q = prețul tonei de abur. I_{ed} ; I_{ec} = investițiile în instalațiile centralei pe structură discretă (*d*) și continuă (*c*). Z_{ed}^{lsc} ; Z_{ec}^{lsc} = cheltuielile în teoria echipamentelor pentru linii (*l*) stații (*s*) și consumatori (*c*). C_e^{lsc}, I_e^{lsc} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru reînoire, întreținere, repararea inclusiv preluarea avariilor la nivelul liniilor, stațiilor și consumatorilor p_{am}^{ls} ; p_{int}^{ls} ; p_{int}^{ls} = coeficienți pentru determinarea cheltuielilor de amortizare, de întreținere și reparații, precum și cele de retribuție ; S_{sf} = = costul unei întreruperi ; n = numărul de avarii ; k_{vp}^c = coeficient de cerere a puterii la consumator C_{exp}^c ; C_{int}^c ; C_{teh}^c ; C_{av}^c = cheltuieli de exploatare (*exp*) ; cele de întreținere (*int.*) ; cele pentru tehnica nouă (*teh*) și cele pentru preluarea avariilor la consumator (*av*) ; Z_o^d ; Z_o^c = cheltuielile în teoria ordonanțării producției la nivelul sistemelor cu structuri discrete (*d*) și respectiv continue (*c*), $[f[x(t)]$ = funcție de producție ; c_s ; c_p = costuri de stocare (*s*) și de penurie (*p*) ; $P(t)$ = resursele ; $C(t)$ = cererea ; $S(t)$ = stocul ; $p[C(t)]$ = probabilitatea cererii ; t_{vijkl} = timpul unitar de prelucrare a produselor (x_{vijkl}) în variantele (*v*) ; la operațiile (*i*) ; pe mașinile (*j*) ; reperul (*k*) și produsul (*l*) la prețul p_{vijkl} ; p_o = probabilitatea realizării ordonanțării ; I_o^d ; I_o^c = investițiile pentru asigurarea ordonanțării în sisteme cu structuri discrete (*d*) și respectiv continue (*c*) ; Z_B^d ; Z_C^d ; Z_D^d = cheltuielile pentru combustibil (*B*) ; cele pentru calitatea producției (*C*) și pentru activități diverse (*D*) ; p_c^o = prețul combustibilului ; n_o = numărul de cazane în funcțiune ; B_h = cantitatea de combustibil consumată orar ; t_f = timpul de funcționare ; p_o^{en} = prețul energiei nelivrate ; $P_f \cdot t_{is} = E_f$ = energia nelivrată ; C_{uc}^I = cheltuieli privind asigurarea calității energiei pentru grupurile în funcțiune ; F_{od} ; F_{rs} = funcții de producție ; A = constantă procesului studiat ; F_m = resursele umane ; F_p = fondurile de producție ; e_1 ; e_2 = = constante ale procesului de producție ; b_{CTE}^{er} ; $b_{CTE}^{(1)(2)}$ = consumurile specifice

suplimentare de combustibil ale centralei termoelectrice analizate, b_{cz}; b_{tb}; b_{si} = consumurile specifice suplimentare la nivelul cazanelor (cz); al turbinelor (tb) și la nivelul serviciilor interne (si); b_{sit}, b_{sic} = consumurile specifice suplimentare la nivelul serviciilor interne turbine și respectiv cazane; B_h; Q_h = cantitatea de combustibil orară și cantitatea orară de abur; P = = puterea agregatului analizat; σ; γ = consumul specific suplimentar pentru rețele (σ) în cazul circulației puterii active și respectiv reactive (γ); 1 = coeficient pentru luarea în considerație a prezenței centralelor hidroelectrice în sistemul analizat; a_{czo}; a_{gro} = consumurile de mers în gol pentru cazan (czo) și grup (gr). b_m; b_{ec}; b_M = consumurile specifice suplimentare la sarcini minime (m), economice (ec) și mărite (M); b_1; b_2 = consumurile specifice suplimentare la nivelul grupului pînă la sarcina economică (b_1) și peste sarcina economică (b_2); P_{ec} = puterea economică a grupului analizat; S_T = puterea aparentă; ΔP; ΔQ = pierderile de putere activă și respectiv reactivă în liniile cercetate; P_{CTE} = puterea centralelor din rețea; P_g = puterea noduri-lor generatoare din rețea; P_c = puterea consumatorilor din rețea; U = tensiunea rețelei; k_c; k_r = coeficienții consumurilor proprii tehnologice în rețea; Q = puterile reactive generate de centrala termoelectrică (CTE); de generatoare (g) și cele preluate de consumatori (c); r; x = rezistența și reactanța liniilor analizate P_{n1}; P_{n2}; P_{n3} = producțiile nete generale (1) și la nivelul obiectivelor energetice (2) (3). P_G = producția globală; C_m = cheltuieli materiale; d_{sp} = dauna specifică; E_{n1} = energia nelivrată; a = coeficient de intensitate a avariilor. P_{inst} = puterea în funcțiune la momentul apariției avariei; t_{nf} = durata de insucces; s = coeficient de luare în considerație a daunelor provocate prin nelivrarea energiei la export; d_{exp}; P_{ewp} = dauna specifică și puterea pentru situații de export; V_{pin} = valoarea pagubelor realizate la nivel național, respectiv la nivelul analizat al calculării producției nete; Z_{cc} = cheltuielile de control deterministe (d) respectiv probabiliste (pr) anuale de calcul care conțin cheltuieli de aplicare (C_{cc}) a formelor de control și investițiile respective (I_{cc}); R_{cc} = valoarea reziduală a instalațiilor aplicate la controlul produselor. Cheltuielile și investițiile pentru controlul calității producției cuprind: eforturile pentru pregătirea tehnică a controlului; pregătirea organizatorică a controlului; pentru acoperirea rebuturilor descoperite la furnizor și beneficiar și pentru depășirea erorilor ce se fac la conceperea și aplicarea controlului de calitate. N = lot de fabricație; c_p = costul operațiilor de control pentru o mostră; c_r = costul unei realizări; q = numărul pieselor din lot supuse controlului; t_0 = timpul unei reglări; b = beneficiu; t_p = timpul necesar fabricării produsului controlat; α = riscul de genul I reprezintă probabilitatea de a considera că procesul se desfășoară anormal deși există rebuturi care nu depășesc limitele de control decît într-un procent redus sesizabil; β = riscul de gradul II reprezintă probabilitatea de a considera că procesul se desfășoară normal cu toate că în realitate este necorespunzător. Cu cît (β) este mai mic cu atît limitele de control sînt mai îndepărtate și viceversa. TC = limita de toleranță; Z_α = limita de supraveghere; σ = abaterea medie standard; n = numărul de eșantioane dintr-o probă controlată. R = amplitudinea împrăștierii; a_n = mărimea intervalului de grupare; C; D = mărimi de calcul preluate din tabele; p_{2n}; p_{1n} = defectele constatate la ($1n$) și ($2n$) eșantioane controlate.

5.4.4. Modele matematice ale funcției de personal

a) *Modele generale ale ingineriei umane*

a_1) Modele pentru structuri industriale discrete

$$Z_{ingum}^{d(pr)} = (Z_{rpr} + Z_{olm} + Z_{dom})^{d(pr)}$$

$$Z_{ingum_{tac}}^{d(pr)} = \sum_{i=1}^{n} (1 + p_n)^{-i}(I_{rpci} + I_{olmi} + I_{domi} + C_{rpci} + C_{olmi} + C_{dolmi} + D_{rpci} + D_{olmi} + D_{domi} - V_{rpci} - V_{olmi} - V_{domi})^{d(pr)} - R_{ingum}^{tac};$$

$$Z_{ingumtc}^{d(pr)} = \sum_{j=1}^{m} (C_{tv} + p_n I_{tc})_j^{d(pr)} = [Z_{rpc}^{tc1} + Z_{olm}^{tc2} + Z_{dom}^{tc3}];$$

$$Z_{prc}^{d(pr)} = \sum_{i=1}^{n} (1 + p_n)^{-i}(I_{rpci} + C_{rpbi} + D_{rpci} - V_{rpci}) - R_{ingum_i}^{tac}$$

$$Z_{olm}^{d(pr)} = [Z_{org}^{lm} + Z_{nor}^{nm} + Z_{org}^{ti}] = b_{tac}[I_{org}^{lm} + I_{org}^{ti} + I_{nor}^{nm} + C_{org}^{lm} + C_{org}^{ti} + C_{nor}^{nm} + D_{org}^{lm} + D_{org}^{ti} + D_{org}^{nm} - V_{org}^{lm} - V_{org}^{ti} - V_{org}^{nm}] - [R_{ingum}^{lm} - R_{ingum}^{ti} - R_{inomu}^{nm}]_{tac}$$

a_2) Modele pentru structuri industriale continue

$$Z_{ingum}^{(pr)} = \left\{\int_{t_1}^{t_2} Z_{rpc}(t)\, p_{rpc}(t)\, \mathrm{d}[Z_{rpc}(t)\, p_{rpc}(t)] + \int_{t_3}^{t_4} Z_{olm}(t)\, p_{olm}(t) \times \right.$$

$$\left. \times d[Z_{olm}(t) \cdot p_{olm}(t)] + \int_{t_5}^{t_6} Z_{dom}(t)\, p_{dom}(t)\, d[Z_{dont}(t)\, p_{dom}(t)]_{tac} \right.$$

$$Z_{ingum}^{(pr)} = \left\{\int_{t_1}^{t_2} C_{ct}(t) p(t)\, \mathrm{d}[C_{ct}(t) p_{ct}(t)] + p_n \int_{t_1}^{t_2} I_{ct}(t) \cdot p_{ct}^{(i)}(t)\, \mathrm{d}[I_{ct}(t)\, p_{ct}^{(i)}(t)] \right\}_{tc} \quad (5\text{-}90)$$

b) *Modele specifice ale ingineriei umane*

$$Z_{rpc}^{d(pr)} = [Z_{ts}^{pr} + Z_{ts}^{ps} + Z_{ts}^{ld}]^{d(pr)} = f(X; Y; Z; U; V; W)$$

$$X_{ij} = \sum_i k_i \sum_j a_j b_j; \quad Y_{ir} = \sum_i k_i \sum_r a_r \cdot b_r; \quad Z_{ip} = \sum_i k_i \sum_p a_p b_p$$

$$Z_{olm}^{d(pr)} = [Z_{org}^{lm} + Z_{org}^{ti} + Z_{nor}^{nn}] = f(G_{or}; Z_{ti}; Z_{ni}) \quad (5\text{-}91)$$

$$g_{na} = \beta^a \cdot \omega^c / B_c = B^{1,6}; \ \omega^{0,88}/B_c;$$

$$Z_{ti} = \sum_l \sum_m \sum_n \sum_t b_{tac}[I_{lmnt}^{ti} + C_{lmnt}^{ti} + D_{lmnt}^{ti} - V_{lmnt}^{ti}] - [R_{lmnt}^{ti}]_{tac}$$

$$Z_{nr} = b_{tac}\left[c_{nr} t_{nr} + \sum_a \sum_g \sum_r r_a p_a V_{gr} p_{gr} + I_{nr} + I_{ra}\right] - [R_{ni} + R_{na}]_{tac}$$

$$V_{gr} = Y_s \cdot h_1 = \left(m_o c_o + \sum_k C_k X_k\right) h_l = f(t_n; n_m)$$

$$t_n = ax + b + t_{af}; \quad t_n = bx_i^a + t_{af}$$

$$t_n = a_i x_i + a_j y_i + b + t_{af}$$

$$n_m^i = t_{pi} + t_b + t_a + t_d + t_{on}$$

$$n_m^s = (t_{pi}/n_{si}) + t_b + t_a + t_d + t_{on}$$

$$n_m^m = t_b + t_a + t_d + t_{on}$$

c) *Modele ale eficienței resurselor umane*

$$E_{net} = (E_{brut} - Z_{ingum}); \quad p_{ef}^{ingum} = \frac{\Delta C_{ingum}^{ik}}{\Delta I_{ingum}^{ki}}$$

$$t_{rec}^{ingum} = \frac{\Delta I_{ingum}^{ki}}{\Delta C_{ingum}^{ik}} \lessgtr t_{rec}^{normat}; \quad p_{ef}^{ingum} \gtrless p_{ef}^{normat}$$

$$i_{pr} = \frac{P_1}{P_0} > i_{fr} = \frac{Fr_1}{Fr_0} > i_{rp} = \frac{NP_1}{NP_0}$$

$$i_{pm} = \frac{Pm_1}{Pm_0} > i_{rn} = \frac{Rm_1}{Rm_0} \tag{5.92}$$

$$P_{1(0)} = P_n = P_G - C_m; \quad F_{r1(0)} = \sum_k n_k r_k$$

$$NP_{1(0)} = \sum_k n_k = (n_{km} + n_{kth} + n_{kaj})$$

$$P'_m = \frac{P_{1(0)}}{NP_{1(0)}}; \quad P''_m = \frac{P_{1(0)}}{t}$$

$$P_G = (V_{pf} + V_{sf} + V_{op} + V_{li} + V_{pm} + \Delta S)$$

$$C_m = (M_{pm} + P_{sa} + C_e + A_f + A_{ch} - D_r)$$

în care: Z_{ingum} = cheltuielile totale ale ingineriei umane deterministe (*d*) și respectiv probabiliste (*pr*); Z_{rpr}; Z_{olm}; Z_{dom} = cheltuielile pentru recrutarea și pregătirea personalului (*rpc*); cele privind organizarea locurilor de lucru (*olm*) și normarea muncii și cele legate de dialogul om-calculator (*dom*) defalcate pe investiții (*I*); cheltuieli (*C*); daune (*D*); venituri (*V*) și valoarea reziduală (*R*); Z_{org}^{lm}; Z_{nor}^{nm}; Z_{org}^{ti} = cheltuielile pentru organizarea locurilor de muncă (*lm*); pentru normarea muncii (*nm*) și cele legate de organizarea transportului intern (*t_i*); $p_{rpo}^{(t)}$; $p_{olm}^{(t)}$; $p_{dom}^{(t)}$ = probabilitățile dinamice de succes ale evenimentelor de pregătirea personalului muncitor, de organizarea și normarea muncii și de introducerea dialogului om-calculator în producție, C_{ct}; I_{ct} = cheltuielile și respectiv investițiile ocazionate de organizarea și pregătirea resurselor umane pe durata unui an; Z_{ts}^{pr}; Z_{ts}^{ps}; Z_{ts}^{ld} = cheltuielile pentru testarea personalului muncitor sub aspect profesional (*pr*) sub aspect psiho-social (*ps*) și sub aspectul calităților de conducător (*ld*). X_{tj}; Y_{tr} și Z_{tp} = cunoștințele profesionale generale (*X*); cunoștințe legate

de executarea unei anumite munci (Y) și cunoștințe legate de îmbunătățirea procesului de muncă (Z); k_i = coeficient ergonomic; a; b = mărimi care exprimă gradul de dezvoltare a aptitudinilor (a) și nivelul pregătirii profesionale a celor testați (b) la cele trei nivele considerate (r); (j); (p); g_{hd} = constanta lui Hollyday; B = strălucirea sursei; B_c = strălucirea cîmpului de apropiere a sursei; ω = unghiul solid sub care se vede sursa de lumină; (I; C; D; V; R) = reprezintă în ordine investițiile (I); cheltuielile (C); daunele (D); veniturile (V) și valoarea reziduală (R) pentru transportul intern (t_i) în modelul cu patru indici ($lmnt$); b_{tac} = binomul de actualizare; $c_{nr} \cdot t_{nr}$ — cheltuielile cu normarea; $r_a p_a$ = retribuția (r_a) și probabilitatea realizării acesteia (p_a); V_{gr} = volumul de muncă pentru sectorul (g) și profesia (r); p_{gr} = probabilitatea realizării volumului normat de muncă; I_{nr}, I_{ra} = investițiile pentru procurarea utilajelor respectiv a calculatoarelor necesare pregătirii programelor pentru normarea și retribuirea muncii. R_{nr}; R_{na} = valorile remanente ale instalațiilor utilizate în timp la normarea și retribuirea muncii. Y_s = numărul normat de personal muncitor; h_1 = regimul de lucru al fiecărui lucrător; $m_0 c_0$ = numărul de lucrători pentru o secție (c_0) cînd unitatea dispune de (m_0) secției la înființare; C_k; X_k = coeficientul de creștere (C_k) al numărului de personal (X_k) în decursul timpului; t_n = normativul de timp pentru executarea activității (x_i) respectiv (y_j); a, b = constante ale procesului studiat; t_{af} = timpul mediu de așteptare; n_m^i; n_m^s; n_m^m = norma de muncă în producția individuală (n_m^i); în producția de serie (n_m^s) și în producția de masă (n_m^m); t_{pi} = timpul de pregătire — încheiere; t_b; t_a = timpul de bază (b) și cel auxiliar (a); t_d = timpul de deservire; t_{on} = timpul de odihnă și necesități firești; E_{net} = economia brută realizată prin normarea muncii; p_{ef}^{ingum}; t_{rec}^{ingum} = coeficientul de eficiență (p) și termenul de recuperare (t_{rec}); ΔC; ΔI = diferența de cheltuieli (ΔC) și respectiv de investiții (ΔI) la nivelul variantelor de normare comparate (ik); i_{pr}; i_{fr}; i_{np}; i_{pm}; i_{rm} = indicii de eficiență a resurselor umane din producție (i_{pr}); la nivelul fondurilor de retribuție (i_{fr}); la nivelul personalului muncitor (np); la nivelul productivității muncii (pm) și la nivelul retribuției medii (rm) în anul de plan (1) și cel de bază (0). P; Fr; NP; Pm; Rm = valorile producției (P); ale fondurilor de retribuție (Fr); ale numărului de personal (NP); ale productivității muncii (P_m) și ale retribuției medii anuale (R_m); $P_{10} = P_n$ = producția netă în anul de plan (1) respectiv în cel de bază (0). P_G = producția globală; C_m = cheltuieli materiale; n_k = numărul lucrătorilor; r_k = retribuția lunară P'_m; P''_m = productivitatea muncii în proiectare și montaj (P'_m) și respectiv în exploatarea instalațiilor energetice (P''_m); n_{km}; n_{kth}; n_{kaj} = personalul lucrător format din muncitori (m); tehnicieni (th) și personal ajutător (aj). V_{pf} = valoarea produselor finite; V_{sf} = valoarea semifabricate livrate; V_{op} = valoarea obiectelor de plan tehnic terminate; V_{li} = valoarea lucrărilor (serviciilor) cu caracter industrial executate pentru alte unități. V_{pm} = valoarea prelucrărilor materii lor prime și materialelor clienților. ΔS = creșterea sau descreșterea stocurilor

de producție neterminată. M_{pm} = materii prime și materiale de bază, respectiv auxiliare din afară; P_{sa} = piese și subansamble; C_e = combustibil și energie; A_f = amortizări mijloace fixe; A_{ch} = alte cheltuieli materiale; D_r = deșeuri recuperabile.

5.4.5. Modele matematice ale funcției financiar-contabile

a) *Modele de costuri și tarife*

$$c_{sp}^{(d)} = \frac{Z_{tc}}{V_p} = (c_{sp}^{cp} + c_{sp}^{cm} + c_{sp}^{ed}); \quad Z_{tc} = (C_{tc} + \not{p}_n I_{tc})^{d(pr)}$$

$$c_{sp}^{pp} = (c_{sp}^{(d)} + c_{ind} + b); \quad c_{sp}^{lv} = (c_{sp}^{pp} + i_{cp} + a_{pb})$$

$$c_{sp}^{am} = (c_{sp}^{lv} + A_{ac}); \quad c_{sp}^{cp} = \frac{(Z_{tcf}^{cp} + Z_{tcv}^{cp})}{V_p^{cp}}; \quad c_{sp}^{cm} = \frac{(Z_{tcf}^{cm} + Z_{tcv}^{cm})}{V_p^{cm}}$$

$$c_{sp}^{ed} = \frac{(Z_{tcf}^{ed} + Z_{tev}^{ed})}{V_p^{ed}}; \quad c_{sp}^{td} = \frac{(Z_{tcf}^{td} + Z_{tcv}^{td})}{V_p^{td}}$$

$$c_t = c_{sp}^{cp} + c_{sp}^{cm} + c_{sp}^{ed} = \frac{(Z_{tcf} + Z_{tcv})^{PME}}{V_p^{PME}} \tag{5-93}$$

$$c_{sp}^{tac} = \frac{Z_{tac}}{V_p^{tac}} = \sum_i (1 + \not{p}_n)^{-i} \left(\frac{Z^{cpm}}{k_1 V_p^{cpm}} + \frac{Z^{ed}}{E_p} + \frac{Z^{td}}{E_{td}} \right)^{d(pr)}$$

$$Z_{tac}^{d(pr)} = [b_{tac}(I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac}]^{d(pr)}$$

$$c_{sp}^{CTE} = \frac{Z_{tc}^{CTE}}{E_p^{CTE}}; \quad c_{sp}^{CHE} = \frac{Z_{tc}^{CHE}}{E_p^{CHE}}; \quad c_{sp}^{CNE} = \frac{Z_{tc}^{CNE}}{E_p^{CNE}}$$

$$c_{sp_e}^{CET} = \frac{Z_{tc}^{CET}}{E_p^{CET}}; \quad c_{sp_q}^{CET} = \frac{Z_{tc}^{CET}}{Q^{CET}}$$

$$I_i = (I_{sa} + I_{co} + I_{imp} + I_{cr} + I_{cd}); \quad C_i = (C_{sa} + C_{co} + C_{imp} + C_{cr} + C_{cd})$$

$$t_e = c_{sp}^e + b; \quad t_Q = c_{sp}^Q + b; \quad t_{ai} = c_{sp}^{ai} + b; \quad t_{at} = c_{sp}^{at} + b; \quad t_c = c_{sp}^e + b;$$

$$t_m = \frac{F_m}{E_m}; \quad t_b = \frac{F_b}{E_b} = \left(\frac{A}{t} + b_e \right); \quad t_p = \frac{F_p}{E_p}; \quad t_t = \frac{E_t}{F_t}$$

$$t_{ge} = \frac{kb}{E_a} (k_1 P_i + k_2 S_r + k_3 N_e + k_4 E_a + k_5 E_r)$$

$$A_v = \frac{Z_{tcf}}{P_v}; \quad A_{iv} = \frac{Z_{tcf}}{P_{iv}}; \quad A_{io} = \frac{Z_{tcf}}{P_{io}}; \quad A_{max} = \frac{Z_{tcf}}{P_{max}}$$

$$b_{ev} = \frac{Z_{tcv}}{E_v}; \quad b_{iv} = \frac{Z_{tcv}}{E_i}; \quad b_{eio} = \frac{Z_{tcv}}{E_{io}}; \quad b_{e\,max} = \frac{Z_{tcv}}{E_{max}}$$

b) *Modele ale indicatorilor de eficiență și rentabilitate*

b_1) Modele de indicatori naturali

$$n_i = a_{ij}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{fn}\cdot\left(\frac{dr_2}{dr_1}\right)^{fdr}\cdot\left(\frac{t_{fd_2}}{t_{fd_1}}\right)^{ftd}\cdot\left(\frac{g_{s1}}{g_{s2}}\right)^{fgs}\cdot\left(\frac{p_{v1}}{p_{v2}}\right)^{fpv}\cdot\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{fs}$$

$$n_i = a_{ij}\prod_{j_1\in S_1}\left(\frac{P_{ij}}{P_{aj}}\right)^{fj_1}\prod_{j_2\in S_2}\left(\frac{P_{aj}}{P_{ij}}\right)^{fj_2}$$

$$\eta_{gi}=\frac{E_{ui}}{E_i+E_g};\quad \eta_{net}=\frac{E_u}{E_i};\quad c^t_{sp}=\frac{E_i}{V_p} \tag{5-94}$$

$$B_i=\left[B_t+\frac{1}{7\cdot 10^6}Q_t+860E_{ext}+860E_{CHE}\right][tcc]$$

$$i_{pc1}=\frac{P_t}{NP_c};\quad i_{pr1}=\frac{L_r}{NP_{re}};\quad i_{pre}=\frac{P_{re}}{NP_{re}}$$

$$i^{pm}_{pm}=\frac{P^{pm}_1}{P^{pm}_0};\quad i^{ed}_{pm}=\frac{P^{ed}_1}{P^{ed}_0};\quad P^{pm}_{m_1}=\frac{P^{pm}_n}{NP_t};\quad P^{ed}_{m_2}=\frac{P^{ed}_n}{t}$$

b_2) Modele de indicatori valorici

$$Z^{d(pr)}_{tac}=[b_{tac}(I_i+C_i+D_i-V_i)-R_{tac}]$$

$$Z^{d(pr)}_{tc}=(C_{tc}+\not p_n I_{tc})=(\not p_c E_p+\not p_n i_{sp}P_i)$$

$$i_{sp}=\frac{I_i}{P_i};\quad \not p_c=\frac{Z_{tc}}{E_p};\quad D_i=d_{sp}\cdot E_{ui};\quad V_i=t_c E_i \tag{5-95}$$

$$R_i=I_i(1-c_{am}i)=i_{sp}\cdot P_i(1-c_{am}i)$$

$$V^{1\ an}_i=(E^{1\ an}_o-Z_{tc});\quad V^{5\ ani}_i=(E^{5\ ani}_i-Z^{5\ ani}_{tac})$$

$$B=(\not p_v-\not p_c)V_p;\quad R\%=\frac{B}{\not p_c}100=\left(\frac{\not p_v}{\not p_c}-1\right)\cdot V_p\cdot 100$$

$$i_B=\frac{B\cdot 10^3}{V_{ff}};\quad i_{pn}=\frac{P_n\cdot 10^3}{V_{ff}}\cdot i_{pm}=\frac{P_m\cdot 10^3}{V_{ff}};\quad i_{pg}=\frac{P_g\cdot 10^3}{V_{ff}}$$

$$i_{ac}=\frac{Ac\cdot 10^3}{V_{ff}};\quad i_{av}=\frac{Av\cdot 10^3}{V_{ff}};\quad P_n=(P_G-C_m)$$

în care:

c_{sp} = costul specific al produsului realizat într-un sistem discret; Z_{tc} = cheltuielile anuale de calcul; V_p = volumul producției; c^{cp}_{sp}; c^{cm}_{sp}; c^{ed}_{sp} = costuri specifice la nivelul cercetării proiectării (cp), la nivelul montajului (cm) și la nivelul exploatării instalațiilor (ed); C_{tc}; I_{tc} = cheltuielile

anuale și respectiv investițiile; $\not p_n$ = coeficientul normat al eficienței investițiilor; c_{sp}^{pp} = costul producătorului, c_{ind} = cheltuielile specifice indirecte; b = beneficiul; c_{sp}^{lv} = costul de livrare; i_{cp} = impozitul pe circulația produselor, a_{pb} = alte prelevări la buget, A_{ac} = adaosul comercial. Z_{tcf}; Z_{tcv} = cheltuielile anuale de calcul fixe (f) și respectiv variabile (v); c_{sp}^{tac} = costul specific actualizat; Z_{tac}; V_{tac} = cheltuielile totale actualizate și respectiv volumul de producție actualizat; Z = cheltuielile efective la nivelul cercetării-proiectării ($c\not p$), montajului (cm), exploatării (ed) și cele de transport-distribuție (td) scrise sub formele sale deterministe respectiv probabiliste (d) ($\not pr$) · c_{sp} = costul specific al energiei în centrale termoelectrice și de termoficare (CET) calculat cu raportul cheltuielilor (Z_{tc}) și energia produsă (E). I_i; C_i = investițiile respectiv cheltuielile pentru realizarea obiectivelor energetice defalcate pe stocuri și așteptare (I_{sa}, C_{sa}); pe echipamente și ordonanțare (I_{eo}; C_{eo}); pe inginerie umană și prognoză (I_{imp}, C_{imp}); pe căutare și risc (I_{cr}; C_{cr}) și pe costuri respectiv decizie (I_{cd}; C_{cd}); t_e; t_Q = tariful energiei electrice (t_e) respectiv termice (t_a); t_{ai}, t_{at}, t_c = tarife pentru apă industrială (ai); apă tratată (at) și cenușă (c), t_m = tarif monom; t_b = tarif binom; t_p = tarif paușal; t_t = tarif în tranșe; F = factura în monom (m); în binom (b); în paușal ($\not p$) în tranșe (t); E = energiile facturate; A = taxa de putere; t = timpul de funcționare a consumatorului; b_e = taxa de energie; t_{ge} = tariful general; k_b = coeficientul beneficiului; $k_1 \dots k_5$ = coeficienți pentru calculul cheltuielilor în funcție de puterea instalată (P_i); puterea racordată (S_r); numărul de locuitori din zonă (Ne); E_a = energia activă; E_r = energia reactivă; E_e = energia electrică facturată. A = taxă de putere la vîrf (v); în afara vîrfului (iv); indiferent ora (io) de consum; maximă (max) cînd se absorb din sistem puterile (P) la vîrf (v); și se facturează energiile (E_v; E_{iv}; E_{io}; E_{max}); n_t = nivelul tehnic al utilajelor; a_{ij} = constantă care definește nivelul utilajului luat ca referință; P_{ij} = valoarea performanței (j_1) a produsului (i); P_{aj} = = valoarea performanței (j_2) a produsului (a). S_1 = mulțimea performanțelor invers proporționale cu calitatea produsului; f = factor de pondere a performanței calculat cu raportul dintre cheltuielile pentru o performanță și cheltuielile pentru întregul set de performanțe al produsului analizat; S_2 = = mulțimea performanțelor direct proporționale cu calitatea produsului analizat; η = randament; dr = greutate; t_f = durata funcționării g_s = greutate specifică; S = suprafața utilă; $\not p_v$ = prețul; η_g = randament global; η_{net} = randament net; E_u = energia utilă; E_i = energia consumată (intrată); E_g = energie generată în sistem; V_p = volumul producției realizată; B_i = = consumul de combustibil intrat în sistem; B_t = combustibilul consumat; Q_t = energie termică; E_{ext}; E_{CHE} = energii preluate din exterior (ext) și cele generate de centrale hidroelectrice (CHE) existente în interiorul sistemului analizat; i_{pel} = indicele de personal la nivelul centralelor electrice de putere (P_t) și cu personalul (NPc); i_{prl} = indicele specific al rețelelor exprimat ca raport între lungimea rețelei (Lr) respectiv puterea transportată (Pre) și numărul personalului muncitor ($NPre$); i_{pm}=indicele productivității muncii la nivelul proiectării montajului ($\not pm$) și respectiv la nivelul exploatării (ed) P_{01}^{pm}; P_{01}^{ed} = producția în anul de plan (1) și respectiv în anul de bază (0) la nivelul proiectării și montajului ($\not pm$) respectiv la nivelul exploatării (ed);

P_n = producția netă la nivelele proiectare-montaj ($\not p m$) și respectiv exploatare (ed); NP_t = numărul personalului muncitor; $\not p_e$ = costul energiei produse (E_p); i_{sp} = investiția specifică; P_i = puterea instalată; d_{sp} = dauna specifică; E_{n1} = energia nelivrată; t_e = tariful; E_l = energia livrată; V_t = = venitul net după un an ($V^{1\ an}$) și respectiv cinci ani ($V^{5\ ani}$); E_c=economiile realizate; B = beneficiul total; $\not p_v$ = prețul produsului; $\not p_c$ = costul produsului; R = rentabilitatea; V_{ff} = valoarea fondurilor fixe, P_m = productivitatea; P_g = producția globală; A_c = acumulările; A_v = aportul valutar; C_m = cheltuielile materiale; i = indici ai beneficiului (B), ai producției nete (P_n), ai producției globale (Pg); ai acumulărilor (Ac) și ai aportului de valută (Av).

5.4.6. Modele matematice pe fluxuri energotehnologice

a) *Structuri și fluxuri energotehnologice discrete*

$$N_t = N_0 + \int_{t_1}^{t_2} [R(t) - S(t)]\, dt;\quad R(t) = \frac{1}{t}[X_d(t) - X_r(t)]; \qquad (5\text{-}96)$$

$$C_{pg} = A.T.I;\quad C^t_{pi} = \frac{F_{ti}}{t_{ti}};\quad C^r_{pi} = \frac{F_{ri}}{t_{ri}} \cdot k_{pi};\quad R_c = (C_t - N_t)$$

$$k^{intg}_{ut} = \frac{C^t_{pi}}{C^r_{pi}} = \frac{F_{di}}{F_{ti}} \cdot \frac{t_{ti}}{t_{pi}};\quad k^{ext}_{ut} = \frac{N_p \cdot t_{pi}}{F_{ti}};\quad k^{ints}_{ut} = \frac{t_{ti}}{t_{pi}}$$

$$k^{intg}_{ut_r} = k^{ext}_{ut_r} \cdot k^{ints}_{ut_r};\quad k^{ext}_{utr} = \frac{Nr.\ tefi}{F_{ti}};\quad k^{ints}_{utr} = \frac{t_{ti}}{t_{efi}}$$

$$k^{nom}_{ex_{ti}} = \frac{1}{F_{ti}} \sum_j N_{pj} \cdot t_{pij};\quad k^{nom}_{ext.\,ir} = \frac{1}{F_{ti}} \sum_j N_{rj} t_{efij}$$

$$k^{nom}_{intsi} = \frac{\sum_j N_{pj} \cdot t_{tij}}{\sum_j N_{pj} \cdot t_{pij}};\quad k^{nom}_{intsir} = \frac{\sum_j N_{rj} \cdot t_{tij}}{\sum_j N_{rj} \cdot t_{egij}}$$

$$C_{piij} = \frac{F_{ai}}{\sum_j t_{ij} N_j} N_j \cdot k_{pi};\quad m_i = \frac{\sum_j t_{ij} \cdot N_j}{f_a \cdot k_{pi} \cdot k_u}$$

$$T_s = n_i \sum_i t_{oi};\quad T_p = t_{oi} + (n-1)\, t_{on};\quad t_{on} = \max_i t_{oi}$$

$$T_m = n_i \sum_i t_{oi} + (n - n_i) \sum_i (t_{oi} - t_{oi+1})$$

$$R_{sp} = n \cdot r;\quad P_{net} = (P_i - P_{ter});\quad n_s = \left[\frac{2N \cdot D}{(c_m + A)\, t_i \not p_n}\right]^{1/2}$$

$$R_{rp} = \frac{F_n}{n_1} = \frac{F_n}{N} \cdot n;\quad P^{med}_{net} = 0{,}5\,(P^{max}_{net} - P^{min}_{net})$$

$$G_{org}\% = \frac{H_c}{H_c} \cdot 100; \quad H_c = \sum_g H_g; \quad H_g = k_l \left[\sum_i p_i \lg \frac{1}{p_i} + \sum_i q_i \cdot \lg \frac{1}{q_i} \right]$$

$$t_{dc} = \max \cdot t_g = f(t_{ij}; \sigma_{ij}; t_j^0; t_i^1; d_{fi}; d_{fj}; M_t; M_l; M_i; M_m; lp; x; P_m)$$

$$t_{ij} = \frac{t_{ij}^{op} + t_{ij}^{m} + t_{ij}^{ps}}{6}; \quad \sigma_{ij} = \frac{1}{36}(t_{ij}^{ps} - t_{ij}^{op})^2; \quad t_{ij} = \frac{V_p^{op(m)ps}}{N_p n_p k_{in}}$$

$$M_t = (t_j^1 - t_j^0); \quad M_1 = (t_j^0 - t_j^1);$$

$$M_i = (t_j^0 - t_j^1 - t_{ij}); \quad M_m = (t_j^1 - t_i^1 - t_{ij}); \quad t_j^0 = \max (t_i^0 + t_{ij})$$

$$t_i^1 = \min (t_j^1 - t_{ij}); \quad d_{fi} = (t_i^0 - t_i^1); \quad d_{fj} = (t_j^1 - t_j^0); \quad x = \frac{t_{de} - t_p}{\sigma_{ij}} = f(P)$$

$$Lp = [l_0 + (2V_0 + V_1)\, l + 1{,}2\mathrm{H}]; \quad P_m = \frac{t_s \cdot Q}{T_c \cdot n_b}; \quad D_{mp} = (N - n - 1)\, k + \bar{t}_{afp}; \quad D_{ms} = nNk + t_{afs}$$

b) *Structuri și fluxuri energotehnologice continue*

b_1) Structuri și fluxuri la nivelul surselor

$$P_{ic} = \sum_k P_{igk}; \quad P_{ig} = P_{imp} \cdot \eta_g; \quad P_{dc} = \sum_k P_{dgk}; \quad P_{dgl} = P^p_{mp} \cdot \eta_g;$$

$$P_{dg\,II} = S_d \cos \varphi; \quad P_{dg\,I} \gtreqless P_{dg\,II}; \qquad (5\text{-}97)$$

$$P_{uc} = P_{dc} - P_{rep}; \quad P_{pv} = P_{uc} - P_{rst}; \quad P_{ind} = P_s + P_{uz} + P_{ld};$$

$$E_{maxmax} = P_i t_c = 8760 P_i; \quad E_{max} = P_i \cdot t_{ef}; \quad E_{ef} = P_{ef} \cdot t_{ef}$$

b_2) Structuri și fluxuri la nivelul sistemului

$$P_{imed} = \frac{1}{t_c} \sum_j P_{ij} t_{ij}; \quad P_{dmed} = \frac{1}{t_c} \sum_j P_{dj} \cdot t_{dj}; \quad P_{umed} = \frac{1}{t_c} \sum_j P_{uj} \cdot t_{uj}$$

$$P_{vs} = s \sum_c P_{cv}; \quad P_{max} = a \cdot \sum_s P_{vs}; \quad P_{nat} = \frac{U^2}{Z_c}; \quad R_p = P_{umed} - P_{pmed}$$

$$R_p = R_{arp} + R_{rfp} + R_{av} + R_{rp} + R_{bal}; \quad E_t = E_p - E^c_{cpt} - E^r_{rcp}$$

b_3) Structuri și fluxuri la nivelul consumatorilor

$$P_{c_1} = \frac{c_{spe} \cdot P_{pl}}{t_p}; \quad P_{c_2} = p_o S; \quad P_{c_3} = c_{ces} \cdot P_i; \quad P_{c_4} = aP_{nx} + b \cdot P_n$$

$$P_{c_5} = (anP_x)_{max} + \sum_t (b_t \cdot P_{nt}); \quad P_{c_6} = c_m \cdot P_{med} = c_m \frac{E_{ef}}{t_{ef}} \qquad (5\text{-}98)$$

$$P_{cs} = P_{med} + (1{,}73 \ldots 2{,}5)\, \sigma_t = (c_{ut} + c_{ot})\, P_n; \quad Q_n = P_n t_g.$$

$$E_{cmax} = P_{cmax} t_{ef}; \quad E_{cef} = P_{cef} t_{ef}; \quad E_{maxmax} = P_{maxmax} t_c$$

b) Indicii de utilizare a capacităţilor de producţie

$$k^r_{ext} = \frac{E_{max}}{E_{max\,max}}; \quad k^r_{ints} = \frac{E_{ef}}{E_{max}}; \quad k^r_{intg} = \frac{E_{ef}}{E_{max\,max}}$$

$$k^a_{ext} = \frac{E_{max}}{P_i} = t_{ef}; \quad k^a_{ints} = \frac{E_{ef}}{t_{ef}} = P_{ef}; \quad k^a_{intg} = E_{ef} \tag{5-99}$$

$$a = \frac{E_{ef}}{t_c \cdot P_{pv}} = \frac{P_{pm}}{P_{pv}} > k^r_{intg}; \quad s = \frac{P_{pv}}{\sum_c P_{cv}}; \quad t_{ui} = \frac{E_{ef}}{P_i} = k^r_{intg} \cdot t_c;$$

$$t_v = \frac{E_{pv}}{P_{pv}} = a \cdot t_c$$

$$f_{rez} = \frac{P_{reu}}{P_{pv}}; \quad f_{red} = \frac{P_i - P_{dv}}{P_i} = \left(1 - \frac{P_{dv}}{P_i}\right); \quad c_{ups} = \frac{P_{med}}{P_i}$$

$$c_{inc} = \frac{P_{abs}}{P_f}; \quad c_{cer} = \frac{P_c}{P_i}; \quad c_{fs} = \frac{S_{med\,p}}{S_{med}}; \quad t_{uc} = \frac{E_{an}}{P_c}$$

b_5) Structura fluxurilor bilanţurilor energetice momentane

1. Bilanţ energetic general static şi dinamic

$$B_i = \sum_j a_{ij} B_j + B_{ing}; \quad i = (1, \ldots, n)$$

$$B_i(t) = \sum_j a_{ij}(t) \cdot B_j(t) + B_{ing}(t) + i^m_{sp} B^{\check{a}}_i(t) \tag{5-100}$$

2. Bilanţuri electroenergetic şi termoenergetic

$$F_{be} = \sum_i \sum_j (c_{ij} t_{ij} + p_n i_{ij}) P_{ij} = \sum_i \sum_j (c_{ij} x_{ij} + p_n i_{ij} P_{ij})$$

$$F_{bt} = \sum_i \sum_j (z_{ij} \cdot Q_{ij}) = \sum_i \sum_j (z_{ij} \cdot x_{ij}) \tag{5-101}$$

$$\sum_i P_{ij} t_{ij} \leqslant E_{aj}; \quad \sum_i x_{ij} = Q_{aj}$$

$$\sum_j \frac{E_{ij}}{\eta_{ij}} \leqslant R_{ai}; \quad \sum_j \frac{x_{ij}}{\eta_{ij}} \leqslant R_i$$

$$\frac{E_{aj}}{\sum_j \frac{E_{ij}}{\eta_{ij}}} \geqslant E_j; \quad \frac{Q_{ai}}{\sum_j \frac{x_{ij}}{\eta_{ij} P_{oi}}} \geqslant Q_j$$

2.1. Producţia de energie

$$E_{aj} = E_{p_0}; \quad E_{t_0} = E_{p_0} + E_{imp}; \quad E_{c_0} = E_{p_0} + E_{imp} - E_{exp} \tag{5-102}$$

$$E_{p_1} = E_{c_0} - E^a_{opt}; \quad E_{t_1} = E_{p_1} + E_{imp}; \quad E_{c_1} = E_{p_1} + E_{imp} - E_{exp}$$

$$E_{p_2} = E_{p_0} - E^r_{opt}; \quad E_{t_2} = E_{p_2} + E_{imp}; \quad E_{c_2} = E_{p_2} + E_{imp} - E_{exp}$$

2.2. Consumul de energie

$$E_c^{t+1} = \sum_v \sum_u c_{vu}^{t+1} n_{vu}^t p_{vu}^t = \sum_v \sum_u c_{vu}^{t+1} n_{vu}^{t+1}$$

$$E_i = E_0(1 + r_t) \cdot p_r; \quad E_i = E_c + \Delta E; \quad E_c = P_c \cdot t_e \tag{5-103}$$

$$\Delta E = \Delta E_m + \Delta E_r + \Delta E_t + \Delta E_f + \Delta E_s$$

$$Q_i = Q_c + \Delta Q; \quad Q_c = f(D_c \cdot t_f)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{cons} + \Delta Q_{cond} + \Delta Q_{sistem}$$

$$E_t = E_c + E_i; \quad Q_t = Q_c + Q_i$$

5.4.7. Modele matematice pe fluxuri informatico-decizionale

a) *Modele informaționale discrete și continue*

$$H_{ijk}^{(d)} = k_t \left[\sum_i \sum_j \sum_k p_{ijk} \lg \frac{1}{p_{ijk}} + \sum_i \sum_j \sum_k q_{ijk} \lg \frac{1}{q_{ijk}} \right] \tag{5-104}$$

$$H_{ijk} = \int_t [H_i(t) + H_j(t) + H_k(t)]\, dt$$

$$E_{inf} = \int_t p_i^2(t)\, dt; \quad E_t = \int_t \left[f^2(t) - \frac{1}{n(t)} \right] \left[\frac{(n(t)}{n(t) - 1} \right] \mathrm{d}t$$

$$Z_i^{(d)} = \left[\sum_i (1 + p_n)^{-i} (I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac} \right]$$

$$I_i = I_{pz} + I_{ech} + I_{cs}; \quad C_i = C_{pz} + C_{ech} + C_{es}$$

$$D_i = D_{pz} + D_{cs}; \quad V_i = V_{pz} + V_{cs}; \quad R_i = R_{pz} + R_{cs}$$

$$Z_i^{(c)} = \int_t b_{tac} [I_i(t) + C_i(t) + D_i(t) - V_i(t) - R_i(t)]\, \mathrm{d}t$$

b) *Modele de decizie discrete și continue*

b$_1$) Modele generale de decizie

$$Z_i^{(d)\,(pr)} = \sum_k \sum_j p_k (c_{aj} x_j + p_n i_{spj} P_{pj})$$

$$F_{L\text{-}B} = \max_j \sum_k \frac{p_{jk}}{n}; \quad F_{W\text{-}M} = \max_j \min_k p_{jk} \tag{5-105}$$

$$F_H = \max_j (a \max_k p_{jk} + b \min_k p_{jk})$$

$$F_S = \min (\max r_{jk}); \quad V_{joc} = \sum_j \sum_k U_{jk} \cdot x_j \cdot y_k$$

$$Z_i^0 = \int_t p_k(t)\, E_g(t)\, c_j\, dt + \int_t p_n i_{gpj}(t)\, P_{pj}(t)\, p_k(t)\, dt$$

$$V_{joc} = \int_0^1 \int_0^1 U_{jk}(x, y_k) \cdot d_g(x_j) \cdot df(y_k)$$

b_2) Modele speciale de decizie cu și fără punct ș.a.

Model cu punct ș.a

$$\int_0^1 \int_0^1 U_{kj}(x_k, y_j)\, dg_0(x_k) \cdot df(y_j) \leqslant \int_0^1 \int_0^1 U_{kj}(x_k, y_j)\, dg_0(x_k) \cdot df_0(y_j) \leqslant$$

$$\leqslant \int_0^1 \int_0^1 U_{kl}(x_k, y_j)\, dg(x_k) \cdot df_0(y_j) \qquad (5\text{-}106)$$

Model fără punct ș.a

$$p_{11}p_0 + p_{21}q_0 = p_{12}p_0 + p_{22}q_0 = V_{joc}$$

$$p_{11}q_0 + p_{12}q_0 = p_{21}q_0 + p_{22}q_0 = V_{joc}$$

$$p_{ij} = \begin{Vmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{Vmatrix}; \quad p_0 = \frac{p_{22} - p_{21}}{p_{11} + p_{22} - p_{21} - p_{12}}$$

$$q_0 = \frac{p_{11} - p_{12}}{p_{11} + p_{22} - p_{21} - p_{12}}; \quad V_{joc} = \frac{p_{22}p_{11} - p_{12}p_{21}}{p_{11} + p_{22} - p_{21} - p_{12}}$$

în care: N_i = nivelul căutat al fluxului și structurii studiate plecînd de la nivelul inițial (N_0) și luînd în considerație ritmul (R) și stocul (S); $X_d(t)$; $X_r(t)$ = nivelele dorite (d) și cele realizate (n) ale resurselor; C_{pg} = capacitatea de producție generală ținînd cont de caracteristica dimensională (A); T = fondul de timp; I = indicatorul de utilizare integrală; C_{pi} = capacitatea de producție a utilajului (i) tehnică (t) respectiv de regim (r) calculate ca rapoarte între fondurile tehnic (F_{ti}), respectiv de regim (F_{ri}) și timpii unitari tehnic (t_{tc}) respectiv de regim (t_{ri}); k_{pi} = coeficient de utilizare a capacității de producție; R_c = rezerva de capacitate calculată ca diferența dintre capacitatea tehnică (C_t) și planul realizat (N_t); k_{ut} = indici de utilizare a capacității de producție extensivi (ext); intensivi (ints) și integrali (intg); F_{at} = fondul disponibil; C_{pi}^r = capacitatea de regim; C_{pi}^t = capacitatea tehnică; N_p = planul tehnic; t_p = timpul unitar planificat; t_{ef} = timpul unitar realizat; N_r = planul realizat; k_{ext}; k_{ints}; k_{intg} = indicii de utilizare a capacității de producție în cazul producției neomogene; $C_{pi_{ij}}$ = capacitatea de producție în cazul sistemelor neomogene; m_i = numărul necesar de mașini unelte pentru realizarea planului N_j; T_s; T_p; T_m = durata ciclului tehnologic în cazul transmiterii pieselor în serie (s); în paralel (p) și pentru transmiterea mixtă (m); n_i = numărul reperelor; t_{oi} = timpii unitari de prelucrare; n = cantitatea obiectelor muncii; R_{rp} = perioada de repetare; r = ritmul; P_{nt} = producția neterminată ca diferență dintre producția totală (P_t) și producția terminată (P_{ter}); n_s = lotul; N = numărul total de

produse; C_m = costul obiectului muncii; $D = C + B$ = suma cheltuielilor independente (C) și dependente (B) de lotul de fabricație. A = cheltuielile totale de producție; t_i = timpul unitar; p_n = coeficient de eficiență; F_n = = fondul nominal de timp; n_1 = numărul de loturi; N = planul; P_{net} = = producția neterminată; G_{org} = gradul de organizare; H_e = entropia etalon; H_c = entropia calculată; H_g = entropia părților componente ale sistemului analizat; p, q = probabilitățile de succes și insucces; t_{cr} = durata drumului maxim în graf denumit drum critic; t_{ij} = durata unei operații dintre nodurile (i) și (j) din rețea; σ = abaterea medie; t_{ij}^{op}; t_{ij}^{m}; t_{ij}^{ps} = duratele optimiste (op); medii (m) și pesimiste (ps) · $V_p^{op(m)(ps)}$ = volumele de producție optimiste, medii și pesimiste; N_p = numărul de lucrători; n_p = norma de producție; k_{in} = coeficientul de îndeplinire a normelor; M_t = marja totală de timp; M_l = marja liberă; M_m = marja intermediară; M_i = marja independentă; t_j^1 = momentul întîrziat de terminare; t_j^0 = momentul avansat de terminare; t_i^1 = momentul întîrziat de începere; t_i^0 = momentul avansat de începere; d_f = interval de flotație; x = variabila redusă; t_p = durata planificată de realizare a obiectului; l_p = lungimea platformei de montaj; l_0 = lungimea standului de preasamblare; l = lungimea spațiului ocupat de un bloc; V_0, V_l = numărul de blocuri în așteptare în schemă (V_0) și în fir (V_l); H = înălțimea blocului supus montării; P_m = productivitatea macaralei; t_s = durata de serviciu; Q = cantitatea blocurilor supuse montării; n_b = numărul blocurilor; T_c = durata ciclului de lucru; Dmp; Dms = duratele de montaj paralel (p) și respectiv serie (s); N = numărul lanțurilor tehnologice; n = numărul obiectivelor; k = modulul de ciclicitate; t_{af} = timpul mediu de așteptare; P_{ic} = puterea instalată a centralei; P_{ig} = puterea instalată a grupului. P_{imp} = puterea instalată a motorului primar; η_{ig} = randamentul generatorului; P_{dc} = puterea disponibilă a centralei; P_{dgr} = puterea disponibilă a grupului. S_d = puterea aparentă a grupului; $\cos \varphi$ = factorul de putere; P_{uc} = puterea utilizabilă a centralei; P_{rep} = puterea în reparație; P_{pv} = puterea produsă la vîrf; P_{rst} = reducerea de putere datorită uzurilor și strangulărilor; P_{ind} = puterea indispensabilă formată din strangulări (s); uzuri (uz) și condiții locale (ld); E_{maxmax}; E_{max}; E_{ef} = energiile produse maximaximorum; cele maxime și cele efective; t_{ef} = timpul efectiv de funcționare; P_{ef} = puterea efectivă; P_{imed}; P_{dmed}; P_{umed} = puterile instalate, disponibile și utilizabile medii; t_c = durata calendaristică = 8 760 (ore/an); P_{vs} = puterea la vîrful sistemului; s = coeficient de simultaneitate; P_{cv} = puterea la vîrful consumatorilor; a = coeficient de aplatisare a curbei de sarcină; P_{nat} = puterea naturală a liniei electrice de tensiune (U) și impedanța caracteristică (Z_c); R_p = rezerva de putere; P_{pmed} = puterea produsă medie; R_{arp} = rezerva pentru complementarea neajunsurilor grupurilor noi care n-au ajuns la parametrii proiectați; R_{rfp} = rezerva pentru reglajul frecvență-putere; R_{av} = rezerva pentru preluarea avariilor; R_{cal} = rezerva de balanță; E_t = energia totală la consumator; E_p = energia produsă; E_{cpt} = consumul propriu tehnologic în centrale (c) și rețele (r); P_c = puterea consumatorului; c_{spc} = consum specific de energie; P_1 = producția; t_p = timpul de lucru; p_0 = puterea specifică pe unitatea

de suprafață; S = suprafața considerată; c_{cer} = coeficient de cerere; a, b = constante ale procesului de producție; P_n = puterea nominală totală și pe procesul (x); n = numărul proceselor (x); c_m = cota maximă de putere cerută din cea medie absorbită; Q_n = puterea reactivă; P_{cs} = puterea maximă de calcul dedusă prin metode statistico-probabiliste; σ_t = abaterea medie c_{ut}; c_{ot} = coeficienții de utilizare a puterii nominale; E = energia consumată; $k_{ext}^{r(a)}$; $k_{ints}^{r(a)}$; $k_{intg}^{r(a)}$ = coeficienții de utilizare a capacității de producție în unități relative (r) și unități fizice (a); t_{ui} = timpul de utilizare a puterii instalate; t_v = timpul de utilizare a puterii de vîrf; f_{rez}; f_{red} = = factorii de rezervă (red) și reducerea (rez) a puterii; c_{up}; c_{inc}; c_{cer}; c_f = = coeficienți de umplere (c_{up}); de încărcare (c_{ind}) de cerere (c_{cer}^{ce}) și coeficientul de funcționare simultană (cfs); t_{ui} = timpul de utilizare a puterii cerute; B = cantitatea de resurse energetice; a_{ij} = consumurile proprii tehnologice pentru produsele (B_j); B_{ing} = cantitatea înglobată de resurse; $I(t)$ = investițiile pentru dezvoltare; F_{be} = factura energiei electrice și a puterii utilizate (P_{ij}); c_{ij} = costul; t_{ij} = timpul de funcționare; i_{ij} = investiția specifică; F_{bt} = factura energiei termice; z_{ij} = costul specific; Q_{ij} = energia termică; x_{ij} = fluxul energetic; E_{dj} = energia disponibilă; η = randamentul; R_{di} = capacitatea lanțurilor energetice; E_{ij} = energia electrică la nivelul căilor ferate; Q_j = energia termică; P_{ci} = puterea calorifică inferioară; E_{p_0}; E_{t_0}; E_{c_0} = energia produsă, transportată și cea livrată la nivelul sursei; E_{p_1}; E_{t_1}; E_{c_1}; E_{p_2}; E_{c_2}; E_{t_2} = energiile produse, transportate și livrate la nivelul sistemului (1) și la nivelul consumatorilor (2); E_{imp}; E_{exp} = = energia importată (imp) și cea exportată (exp); c_{vu}^{t+1} = consumul de energie la nivelul $(t+1)$ pentru gospodăriile din categoria (v) care trec la categoria (u); n = numărul de gospodării; p_{vu} = probabilitatea trecerii gospodăriilor din categoria (v) în categoria (u); E_i = energia de la nivelul (i) în raport cu anul de bază (E_0); r_t = ritmul de creștere; p_r = probabilitatea de realizare a consumului; ΔE = energia pentru consumul propriu tehnologic; E_c = energia consumată; ΔE_m; ΔE_r; ΔE_t; ΔE_f; ΔE_s = consumul propriu tehnologic în motoare (m); în rețele (r); în transformatoare (t) în fiederi (f) și în sistem (s); Q_i = energia termică intrată în sistem; Q_c = energia consumată; ΔQ = energia termică pentru consumul propriu tehnologic la nivelul consumatorilor (Q_{cons}); conducte (Q_{cond}) și în sistem (Q_{sist}); E_t; Q_t = energiile electrică (E_t) și cea termică (Q_t) totale; H_{ijk} = entropia totală datorită utilajului (i), datorită mijloacelor de producție (j) și datorită forței de muncă (k); $k_t = 3{,}32$ = constanta de transformare a bazei logaritmului din doi în zece, E_{inf} = energia informațională; f_t = frecvența evenimentelor informaționale (n). I_{pz}, C_{pz} = investițiile, respectiv cheltuielile propriuzise; I_{ech}; C_{ech} = investițiile respectiv cheltuielile de echivalare;

I_{cs}; C_{cs} = investițiile, respectiv cheltuielile de aplicare a concepției sistemice, D_i; V_i; R_i = daunele, veniturile și valorile reziduale propriuzise (pz) și cele pentru aplicarea concepției sistemice (cs); p_k = probabilitatea realizării condițiilor de desfășurare a evenimentelor cu cheltuielile $Z_t^{d(pr)}$; c_{dj} = costul unității de flux (x_j); i_{spj} = investiția specifică; P_{pj} = puterea produsă; F_{LB}; F_W; F_S = funcții Laplace, Wald și Savage; p_{jk} = efectul economic; a = coeficient de optimism; b = coeficient de pesimism; r_{jk} = matricea regretelor; V_{joc} = valoarea jocului în funcție de utilitate (U_{kj}) și strategiile jucătorilor (x_j) (y_k); $E_j(t)$ = energie; c_j = costul unui (kWh); p_{11}; p_{12}; p_{21}; p_{22} = efectele economice din matricea jocului.

6. INGINERIA ORGANIZĂRII MONTAJULUI SISTEMELOR DE ENERGIE

6.1. Consideraţii preliminare privind organizarea montajului

Ingineria organizării montajului sistemelor de energie operează cu teoria grafelor-rețea bazate pe modele matematice de tip hamilton. Cu ajutorul acestor modele se poate stabili în anumite condiții structura optimă a grafelor rețea pentru diverse clase de activități la nivelul proiectării obiectivelor energetice (grafuri-rețea pentru durata de realizare a proiectelor), la nivelul montajului (grafuri-rețea pentru durate de execuție inclusiv alocarea și nivelarea resurselor), la nivelul exploatării (grafuri rețea privind repararea agregatelor energetice). Organizarea sistemelor industriale în teoria grafurilor urmărește determinarea fluxurilor într-o rețea dată, stabilirea drumurilor maxime și minime în graf și determinarea timpilor și a condițiilor în care se pot construi obiectivele industriale în general și a celor energetice în special. Pentru organizarea și optimizarea acestor clase de activități se pot utiliza două tipuri de algoritmi și anume: algoritmi pentru determinarea configurațiilor remarcabile în rețea și algoritmi pentru optimizarea configurației grafurilor care reflectă o anumită activitate tehnologică și de organizare. Dintre algoritmii utilizați la determinarea configurației remarcabile în grafuri reținatenția pentru organizarea sistemelor industriale următorii: algoritmele Trémaux și Tarry pentru definirea drumurilor între două puncte, inclusiv algoritmul Malgrange și Roy pentru stabilirea clasei de echivalență la descompunerea unui graf tare conex și pentru determinarea închiderii tranzitive; algoritmele Foulkes; Fleury; Kaufmann pentru determinarea drumurilor și circuitelor hamiltoniene. În clasa algoritmelor de optimizare a structurii grafurilor se pot include: algoritmul Ford pentru determinarea drumurilor minim într-un graf; algoritmele Ford și Bellman-Kalaba pentru determinarea drumurilor maxime în graf; algoritmele Ford-Fulkerson; Kuhn; Little, PERT; DRUM-CRITIC, pentru determinarea fluxurilor maxime, respectiv optime într-un graf și pentru stabilirea traseelor optime într-o structură dată a rețelei de organizare a sistemelor industriale, algoritmele Kruscal și Sollin pentru optimizarea arborilor parțiali într-un graf dat. Aplicațiile teoriei grafurilor se întîlnesc în diverse domenii ale organizării sistemelor industriale și anume: la realizarea proiectelor, la montajul insta-

lației, la organizarea șantierelor, la optimizarea fluxurilor și drumurilor în cadrul sistemelor de energie. Grafele servesc în cadrul organizării sistemelor complexe ca mijloace de exprimare a problemei (rețele de comunicații, arbori și drumuri semnificative); ca mijloace de investigație și ca mijloace de optimizare a activităților (drum critic; fluxuri optime în rețele, afectarea și nivelarea resurselor, etc.). În cadrul sistemelor de energie teoria grafelor se utilizează atît la nivelul cercetării-proiectării instalațiilor energetice cît și la nivelul montajului obiectivelor energetice inclusiv organizarea șantierelor. În țara noastră s-au montat, pe baza teoriei grafelor, centrale termoelectrice (sala cazanelor, sala turbinelor, stațiile de conexiuni, stația hidrotehnică, etc.); centrale hidroelectrice (baraje, turbine, noduri hidraulice) și alte tipuri de instalații din cadrul sistemului energetic național.

Aplicarea concepției sistemice în ingineria organizării obiectivelor energetice noi sau a celor în reproiectare în teoria grafelor reclamă utilizarea modelelor matematice atît la nivelul structurii interne a sistemului supus cercetării, cît și la nivelul de legătură a sistemului cu noul obiectiv la interfața întregului ansamblu cu mediu. Modelele se elaborează la nivele de decizie, pe faze ale procesului tehnologic-organizatorice și pe structura cercetării operaționale. Modelele în teoria grafelor pot fi reprezentate atît în forma fizică a rețelei ce cuprinde evenimente și activități cît și în forma abstractă a relațiilor matematice care permite optimizarea activităților reprezentate în graf. În continuare se va prezenta structura matematică a algoritmelor de reprezentare și optimizare a activităților de organizare în teoria grafelor insistîndu-se în special asupra modelelor matematice care pot constitui baza ingineriei organizării sistemelor complexe în general și a organizării sistemelor de energie în particular.

6.2. Algoritme de optimizare a organizării montajului obiectivelor energetice

În teoria grafelor se folosesc două clase de concepte și anume: concepte orientate și concepte neorientate. În clasa conceptelor orientate sînt cuprinse noțiunile: buclă, graf simetric și antisimetric, graf tare conex, etc. În clasa conceptelor neorientate se includ noțiunile: muchie, lanț, ciclu, graf conex și graf complet. Drumul este o succesiune de arce adiacente care permite trecerea de la un vîrf la altul în lungul arcelor. Circuitul este un drum la care vîrful inițial coincide cu vîrful final. Lungimea unui drum sau a unui circuit este dată de numărul de arce de pe traseul analizat. Graful simetric are vîrfurile în corespondență, dacă un vîrf V_x este legat de vîrful V_y atunci și vîrful V_y este legat de vîrful V_x. La graful antisimetric proprietatea de corespondență între vîrfuri nu se verifică pentru toate vîrfurile rețelei. Un graf este tare conex dacă între vîrful V_x și V_y există un drum de la (V_x) la (V_y) pentru cazul $(\overline{V}_x \neq \overline{V}_y)$. În structura grafurilor orientate se indică sensul legăturii, respectiv sensul de parcurgere a arcelor. Dacă orientarea (V_x, V_y) nu este indicată atunci graful este neorientat și legătura dintre aceste vîrfuri se numește muchie. O succesiune de muchii consecutive formează un lanț.

Un lanț închis formează un circuit. Dacă între vîrfurile V_x și V_y există un lanț atunci graful este conex, iar dacă între vîrfurile V_x și V_y există o muchie atunci se spune că graful este complet. În teoria grafelor se mai operează cu graf parțial, graf simplificat sau subgraf; graf amplificat sau multigraf. Graful parțial rezultă dintr-un graf de referință prin suprimarea unuia sau a mai multor arce. Prin suprimarea a mai multor vîrfuri și arce care sosesc în vîrfurile suprimate se obține un subgraf dintr-un graf de referință. În teoria grafurilor un loc important îl au drumurile de lungime minime, lungime maxime (drum critic) și de lungime optime (drum hamiltonian). Drumul minim poate fi calculat la orice fel de graf pe cînd drumul maxim se poate calcula numai în grafurile care nu conțin bucle (circuit de lungime unitate) și circuite. Drumul maxim într-un graf se formează pe traseul activităților fără marjă de timp. Drumul format pe traseul activităților fără marjă de timp se numește drum critic. Pentru găsirea configurației rețelei de lungime minimă se aplică algoritmul Kruscal, iar pentru determinarea traseului operațiilor fără rezervă (marjă de timp) se aplică algoritmul drum critic, respectiv algoritmul PERT. Drumurile optime într-un graf pot fi drumul minim, drumul maxim sau drumul hamiltonian. Un drum sau un circuit care trece o singură dată prin fiecare vîrf și parcurge toate vîrfurile grafului (traseul comis-voiajorului) sau trece prin toate laturile, respectiv muchiile și parcurge o dată și numai o dată laturile respectiv muchiile (traseul poștașului chinez) se numește drum hamiltonian. În orice graf complet există conform teoremei lui Konig cel puțin un drum hamiltonian. Dacă graful este de ordinul (n) atunci el conține (n — 1) drumuri hamiltoniene și (n) circuite hamiltoniene. Drumul hamiltonian optim se poate determina pe cele două trasee ale sale și anume traseul comis voiajorului și traseul poștașului chinez sau traseul ciclului eulerian. Ciclurile euleriene apar într-un graf conex dacă toate vîrfurile sale sînt de grad par. Pentru determinarea drumului hamiltonian optim pe traseul comis-voiajorului se aplică algoritmul tranzacției în linie, iar pentru determinarea drumului hamiltonian optim pe traseul poștașului chinez se aplică algoritmul lui Fleury. Drumurile hamiltoniene optime se determină în grafuri simple cu algoritmul patratelor latine iar în grafuri complexe cu algortimul Little în varianta Branch and Bound. Alte concepte în teoria grafelor sînt cele legate de numărul ciclomatic, numărul cromatic, graful planar, termenul de începere și de terminare a evenimentelor, durata evenimentelor, marjele de timp și intervalul de flotație. Numărul ciclomatic al unui multigraf este egal cu numărul maxim de cicluri independente. Într-un graf tare conex, numărul ciclomativ este egal cu numărul maxim de circuite independente liniar. Pe baza numărului ciclomatic se aleg, în circuitele electrice, buclele și perechile de noduri între care avem diferențe de potențial liniar independente. Se spune că un graf este cromatic atunci cînd este posibil ca la toate vîrfurile colorate distinct două vîrfuri adiacente să nu aibă aceeași culoare. Cel mai mic număr (ϕ) pentru care graful este ϕ-cromatic se numește număr cromatic al grafului. Acest număr își găsește aplicație la marcarea planurilor de situație privind organizarea șantierelor. Graful care poate fi desenat încît muchiile sale să se intersecteze numai în vîrfuri se numește graf planar. Grafele planare trebuie să fie izomorfe și să conțină aceeași informație. Astfel de grafe pot fi considerate unul și același graf și se pot aplica la organizarea rețelei de

comunicație a unui șantier pentru determinarea traseelor minime și a numărului minim de încrucișări între fluxurile tehnologice și informaționale. Pentru ca un graf să fie planar trebuie să nu conțină subgrafuri parțiale care ar putea să fie comprimate pînă la graful hexagonal sau pentagonal. Termenul de începere și de terminare a unor lucrări, duratele evenimentelor, marjele de timp inclusiv intervalele de flotație vor fi definite în cadrul algorimului PERT și DRUM CRITIC.

Modelele matematice în teoria grafelor și algoritmele aferente cu care operează ingineria organizării se pot sintetiza astfel:

— Modele și algoritmii pentru determinarea drumurilor și circuitelor hamiltoniene pe traseul comis-voiajorului și pe traseul poștașului chinez respectiv pe traseul Euler.

— Modele și algoritmii pentru drumuri minime, respectiv maxime în grafurile complexe și pentru determinarea unei structuri optime de rețea.

— Modele de algoritmi pentru determinarea drumului critic în varianta deterministă, respectiv probabilistă cu alocarea și nivelarea resurselor.

Pentru determinarea drumurilor hamiltoniene și a celor euleriene într-un graf-rețea trebuie să se verifice în prealabil teorema lui König, teorema lui Dirac și teorema lui Euler. Conform teoremei Köning dacă un graf este complet atunci el are cel puțin un drum hamiltonian. Dacă un graf este simetric, conex și fără bucle și dacă este satisfăcută condiția Dirac [20] [27] atunci graful are cel puțin un circuit hamiltonian.

Un graf admite un lanț de tip Euler dacă și numai dacă este conex și dacă numărul vîrfurilor de grad impar este zero sau doi.

Modelele și algoritmii cu largi aplicații în inginerie pentru determinarea drumurilor și circuitelor hamiltoniene reale și optime într-un graf tare conex și într-un graf conex sînt cele elaborate de Kaufmann sub forma produselor matriceale latine, cele elaborate de Foulkes în varianta originală a comis-voiajorului și a tranziției minime în linie, cele elaborate de Flood și Tucker, cele elaborate de Euler și Fleury și cele elaborate de Little în varianta Branch and Bound. Algoritmul produselor matriceale latine pentru un graf tare conex căruia i se asociază matricea legăturilor dintre vîrfuri (M_1) și se deduce matricea ($\overline{M}_1$) prin eliminarea literei inițiale constă din înmulțirea matricilor pînă obținem numărul drumurilor hamiltoniene. Pentru grafurile considerate în figurile (6.1—2) cu cinci noduri ($n = 5$) trebuie calculate ($n - 1$) matrici pe baza înmulțirilor latine.

Deci calculul constă în determinarea matricelor ($M_1 \dots M_4$) cu relațiile:

$$\|M_2\| = \|M_1\| \cdot \|\overline{M}_1\|;$$
$$\|M_3\| = \|M_2\| \cdot \|\overline{M}_1\|; \quad \|M_4\| = \|M_3\| \cdot \|\overline{M}_1\| \tag{6-1}$$

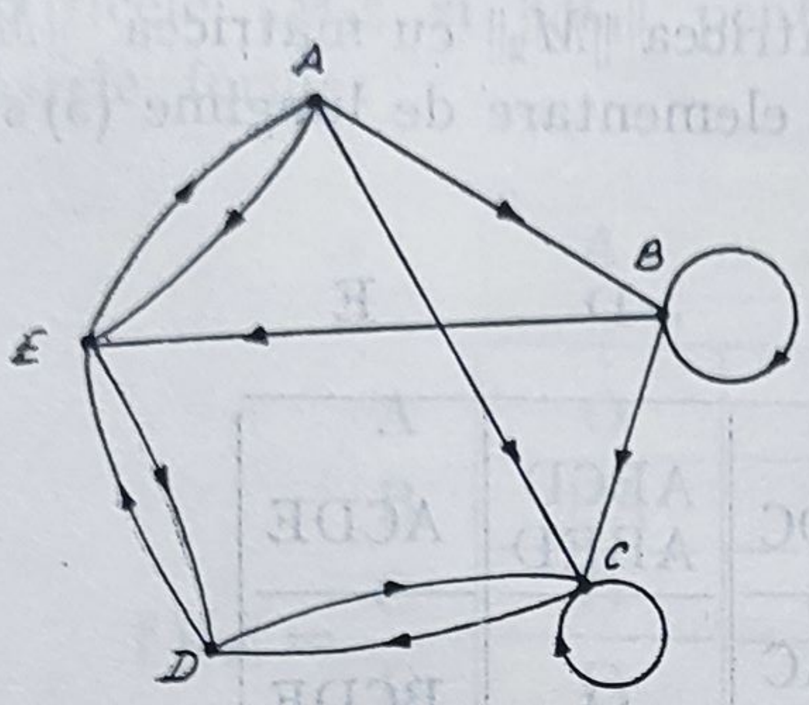
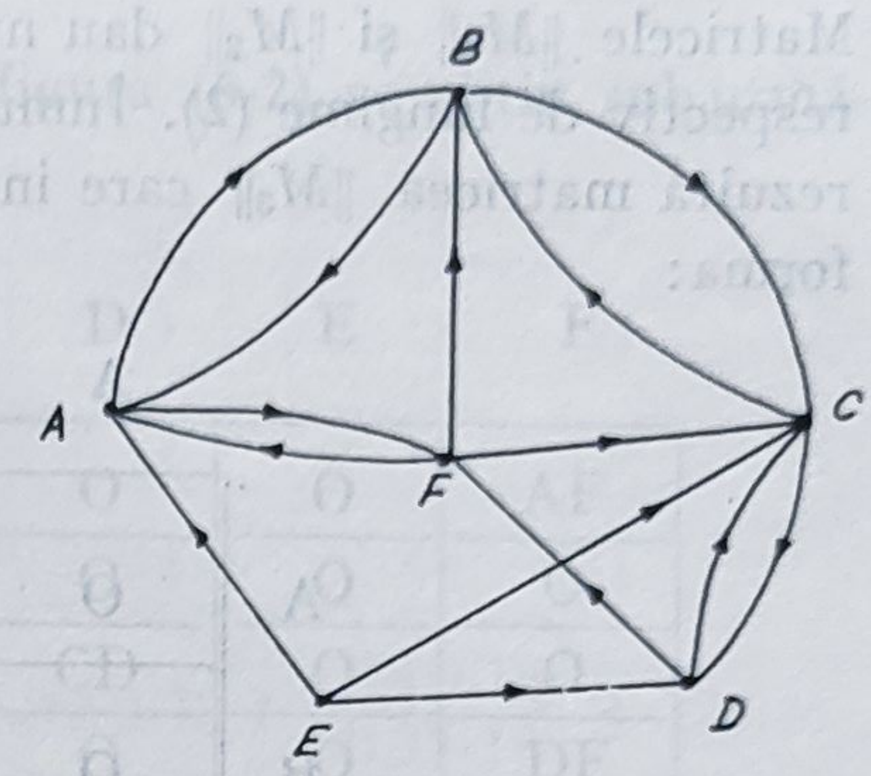


Fig. 6.1.



Eig. 6.2.

GRAFURI TARE CONEX ȘI CONEX.

Pentru graful orientat din figura (6-1) matricele $\|M_1\|$ și $\|\overline{M}_1\|$ au următoarele forme:

$$\|M_1\| =$$

	A	B	C	D	E
A	O	AB	AC	O	AE
B	O	O	BC	O	BE
C	O	O	O	CD	O
D	O	O	DC	O	DE
E	EA	O	O	ED	O

$$\|\overline{M}_1\| =$$

	A	B	C	D	E
A	O	B	C	O	E
B	O	O	C	O	E
C	O	O	O	D	O
D	O	O	C	O	E
E	A	O	O	D	O

(6-2)

Matricea $\|M_2\|$ rezultată din înmulțirea $\|M_1\| \cdot \|\overline{M}_1\|$ are forma:

$$\|M_2\| =$$

	A	B	C	D	E
A	O	O	ABC	ACD AED	ABE
B	BEM	O	O	BCD BED	O
C	O	O	O	O	CDE
D	DEA	O	O	O	O
E	O	EAB	EAC EDC	O	O

(6-3)

Matricele $\|M_1\|$ și $\|M_2\|$ dau numărul de drumuri elementare de lungime (1) respectiv de lungime (2). Înmulțind clasic matricea $\|M_2\|$ cu matricea $\|\overline{M}_1\|$ rezultă matricea $\|M_3\|$ care indică drumurile elementare de lungime (3) sub forma:

$$\|M_3\| = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & O & O & AEDC & ABCD\ ABED & ACDE \\ B & O & O & BEAC\ BEDC & O & BCDE \\ C & CDEA & O & O & O & O \\ D & O & DEAB & DEAC & O & O \\ E & O & O & EABC & EACD & O \end{array} \tag{6-4}$$

Înmulțind în continuare matricea $\|M_3\|$ cu matricea $\|\overline{M}_1\|$ se obține matricea drumurilor hamiltoniene $\|M_4\|$ sub forma:

$$\|M_4\| = \begin{array}{c|ccccc} & A & B & C & D & E \\ \hline A & O & O & ABEDC & O & ABCDE \\ B & BCDEA & O & O & BEACD & O \\ C & O & CDEAB & O & O & O \\ D & O & O & DEABC & O & O \\ E & O & O & O & EABCD & O \end{array} \tag{6-5}$$

Drumurile hamiltoniene pentru graful tare conex din figura (6-1) sînt următoarele: D_1 — ABEDC; D_2 — ABCDE; D_3 — BCDEA; D_4 — BEACD; D_5 — — CDEAB; D_6 — DEABC; D_7 — EABCD.

Determinarea drumurilor hamiltoniene într-un graf conex ca cel din figura (6-2) cu șase vîrfuri reclamă calcularea matricelor $\|M_2\|$; $\|M_3\|$; $\|M_4\|$ și $\|M_5\|$ astfel:

$$\|M_2\| = \|M_1\| \cdot \|\overline{M}_1\|; \qquad \|M_3\| = \|M_2\| \cdot \|\overline{M}_1\|$$
$$\|M_4\| = \|M_3\| \cdot \|\overline{M}_1\|; \qquad \|M_5\| = \|M_4\| \cdot \|\overline{M}_1\|; \tag{6-6}$$

Matricele $\|M_1\|$ și $\|\overline{M}_1\|$ pentru graful din figura (6-2) se obțin sub următoarele forme:

$\|M_1\| =$

	A	B	C	D	E	F
A	O	AB	O	O	O	AF
B	BA	O	BC	O	O	O
C	O	CB	O	CD	O	O
D	O	O	DC	O	O	DF
E	EA	O	EC	ED	O	O
F	FA	FB	FC	O	O	O

$\|\overline{M}_1\| =$

	A	B	C	D	E	F
A	O	B	O	O	O	F
B	A	O	C	O	O	O
C	O	B	O	D	O	O
D	O	O	C	O	O	F
E	A	O	C	D	O	O
F	A	B	C	O	O	O

(6-7)

Matricele $\|M_2\|$ și $\|M_5\|$ au următoarele forme:

$\|M_2\| =$

	A	B	C	D	E	F
A	O	AFB	ABC AFC	O	O	O
B	O	O	O	BCD	O	O
C	CBA	O	O	O	O	CDE
D	DFA	DCB DFB	DFC	O	O	O
E	O	EAB ECB	EDC	ECD	O	EAF EDF
F	FBA	FAB FCB	FBC	FCD	O	O

$$\|M_s\| = \begin{array}{c|cccccc} & A & B & C & D & E & F \\ \hline A & O & O & O & O & O & O \\ B & O & O & O & O & O & O \\ C & O & O & O & O & O & O \\ D & O & O & O & O & O & O \\ E & \begin{matrix}ECDFBA\\ADFCBA\end{matrix} & ECDFAB & EDFABC & EAFBCD & O & \begin{matrix}EDCBAF\\EABCDF\end{matrix} \\ F & O & O & O & O & O & O \end{array} \qquad (6\text{-}8)$$

Cele șapte drumuri hamiltoniene în graful din figura (6-2) sînt următoarele:

D_1 — ECDFBA; D_2 — EDFCBA; D_3 — ECDFAB; D_4 — EDFABC; D_5 — — EAFBCD; D_6 — EDCBAF; D_7 — EABCDF

Algoritmul înmulțirii matricilor latine se poate aplica la determinarea asistată de calculator a drumurilor hamiltoniene în grafuri complexe cu restricții. Dacă grafurile sînt conexe atunci se preferă transformarea lor în subgrafuri tare conexe pe baza algoritmului Foulkes.

Algoritmul Flood pentru determinarea drumurilor hamiltoniene pe traseul comis-voiajorului operează cu un model matematic (programare bivalentă) de forma:

a) Funcția de eficiență

$$Z = \sum_{r=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} (c_{ijr} \cdot x_{ijr} + I_{ijr}) = \text{minim}; \quad I_{ijr} = 0 \qquad (6\text{-}9)$$

b) Restricțiile tehnologico-organizatorice și funcționale:

$$\sum_{r=1}^{n} x_{ijr} = \sum_{k=1}^{n} x_{jk,\,r+1} \qquad \begin{matrix} r = 1, \ldots, (n-1) \\ j = 2, \ldots, (n) \\ i = 1, \ldots, (n) \end{matrix} \qquad (6\text{-}10)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{r=1}^{n} x_{ijr} = 1; \quad x_{ijr} = 0 \text{ sau } 1$$

în care prin (x) s-a notat arcele (r) între vîrfurile (i) și (j); c_{ijr} = costurile; I_{ijr} = investițiile considerate zero pentru un arc dat.

Pentru un graf format din șase noduri se rezolvă o problemă cu 216 variabile și 72 de restricții și rezultă 120 circuite hamiltoniene. Pentru un graf cu (n) vîrfuri, modelul Flood conține (n^3) variabile și $(2n^2)$ restricții.

Algoritmul Tucker permite determinarea circuitului hamiltonian de valoare minimă pentru un graf complet și simetric și are dimensiuni mai mici ca cel stabilit de Flood. Modelul matematic Tucker are forma:

a) Funcția de eficiență

$$Z = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} (c_{ij}x_{ij} + I_{ij}) = \text{minim}; \quad I_{ij} = 0 \tag{6-11}$$

b) Restricțiile tehnologico-organizatorice și funcționale

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ij} = 1; \quad j = (1, \ldots, n) \tag{6-12}$$

$$\sum_{j=0}^{n} x_{ij} = 1; \quad i = (1, \ldots, n)$$

$$u_i - u_j - nx_{ij} \leqslant n - 1; \quad (1 \leqslant i \neq 1 \leqslant n)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ sau } 1; \quad u_i \in R; \; i, \; j = (1, \ldots, n)$$

în care:

x_{ij} = variabile bivalente. Pentru $x_{ij} = 1$ circuitul trece prin arcul (i, j) iar cînd $x_{ij} = 0$ nu se afectează arcul în circuitul analizat; u_i; u_j = numere reale atașate arcelor din graf. Pentru un graf cu (n) noduri avem (n^2) variabile bivalente și $(n^2 - 1)$ restricții. Dacă $(n = 6)$ atunci modelul Tucker comportă 36 variabile bivalente și 35 de restricții. Pentru determinarea drumurilor hamiltoniene cu ajutorul calculatoarelor se mai pot utiliza algoritmul Little în varianta Banch and Bound și algoritmul Gomory. Exemple de aplicare practică a algoritmului Little se dau în literatura [13] [20].

Pentru determinarea ciclurilor euleriene într-un graf conex și pseudosimetric ale căror vîrfuri sînt pare se utilizează algoritmul Euler-Fleury. Regulile de aplicare a acestui algoritm se pot sintetiza astfel: — se stabilește paritatea vîrfurilor grafului tare conex arătîndu-se că el este pseudosimetric; se parcurge graful plecîndu-se dintr-un vîrf oarecare mergînd pe muchie și după parcurgerea ei se șterge din rețea sau se numerotează ca să nu mai fie parcursă încă o dată; nu se vor folosi muchiile care în momentul suprimării creează două componente conexe avînd fiecare cel puțin o muchie; se parcurg toate muchiile o dată și numai o dată și se stabilesc circuitele hamiltoniene; se urmărește ca prin atașarea unor valori fiecărei laturi durata circuitelor hamiltoniene respectiv a ciclurilor euleriene să fie optimă (de regulă minimă).

Această clasă de algoritmi pentru determinarea drumurilor hamiltoniene își găsește multiple aplicații la organizarea activității sistemelor de energie cum ar fi: stabilirea traseelor optime pentru acordarea de asistență tehnică-operativă în sistem de către dispecerii de la diverse centre de comandă; determinarea ciclurilor euleriene pentru parcurgerea culoarelor depozitelor de materiale în vederea inspectării lor rapide și stabilirea necesarului de aprovizionat; determinarea modului de interconectare a centralelor electrice. Pentru determinarea drumurilor minime, maxime și optime într-un graf dat și pentru stabilirea capacității sale se utilizează modelele și algoritmele sta-

bilite de Ford; Bellman-Kalaba și Ford-Fulkerson. Problemele pe care le pun aplicațiile teoriei grafelor implică generalizarea conceptului de drum definit ca distanță între două puncte respectiv două vîrfuri extreme ale grafului studiat. Această distanță în sens general se compune dintr-o mulțime finită de arce pentru parcurgerea cărora se cheltuiește o anumită energie, se alocă un fond financiar, se consumă un timp. Minimizarea sau maximizarea mărimii fizice sau valorice atașată arcelor se face ținînd seama de lungimea generalizată a drumului între două puncte rezultată din însumarea ponderilor acordate arcelor. Dacă fiecărui arc $u \in U$ i se atașează lungimea $l(u)$ atunci prin însumarea tuturor lungimilor ponderate ale arcelor dintre două puncte rezultă lungimea generalizată $\left[\lg = \sum_{u=d} l(u)\right]$ a drumului (d). Optimizarea lungimei generalizată urmărește găsirea drumului optim, maxim sau minim dintr-un anumit punct de vedere și selectarea acestuia din mulțimea de drumuri posibile într-un graf. Drumurile într-un graf complex se studiază din mai multe puncte de vedere și anume: al distanței, al duratei, al fiabilității, al capacității și al costului.

Algoritmul Ford pentru determinarea drumurilor minime, respectiv maxime are la bază programul primal al propagării liniare în următoarea structură:

$$d = \sum_i \sum_j l_{ij} Z_{ij} = \text{minim}$$

$$\sum_{j=0}^{N} (Z_{0j} - Z_{j0}) = 1; \quad \sum_{j=0}^{N} (Z_{Nj} - Z_{jN}) = -1 \qquad (6\text{-}13)$$

$$\sum_{j=0}^{N} (Z_{ij} - Z_{ji}) = 0; \quad i = [1, \ldots, (N-1)];$$

$$Z_{ij} > 0; \quad (x_i, x_j) \in U$$

Z_{ij} = variabila asociată fiecărui arc al grafului ce cuprinde vîrfurile $(x_0, \ldots, x_i, \ldots, x_j, \ldots x_N)$. Dacă $(x_i, x_j) \in U$ atunci $Z_{ij} = 0$; $l_{ij} = l(x_i, x_j)$.

Valorile găsite pentru variabilele (Z_{ij}) determină drumul minim în graf pe traseul $(Z_{ij} = 1)$ compus din arcele (x_i, x_j). La aplicarea acestui algoritm apar dificultăți pe care Ford le-a depășit prin construirea soluției de drum minim într-un graf plecînd de la problema duală a programării liniare formulată în sensul maximizării diferențelor de arce $(u_0 - u_n)$ cu restricții de forma:

$$(u_i - u_j) \leqslant l_{ij}; \; (x_i; \; x_j) \in U.$$

Algoritmul Ford permite determinarea drumului minim într-un graf pe baza următoarelor reguli:

1) Se asociază fiecărui vîrf (x_i) al grafului o variabilă (u_i) punîndu-se la început $(u_0 = 0)$; $(u_i = +\infty$ pentru $i \neq 0)$.

2) Dacă la nivelul unor arce avem $(u_i - u_j) > l_{ij}$ atunci se va înlocui diferența prin $(u_i - l_{ij})$.

3) Se continuă înlocuirile prevăzute de regulă (2) pînă se obține $(u_i - u_j) < l_{ij}$ pentru toate arcele.

4) Pentru situația de la punctul (3) se va găsi vîrful la care $(u_n - u_{ki}) = l_{nki}$. Succesiunea u_n, u_{k1}, u_{k2}, fiind strict crescătoare se va găsi un vîrf $x_{kl} = x_0$ și respectiv un drum pentru care se respectă relația:

$$(u_0 - u_n) = l_{0kl} + l_{kl,\,kl-1} + \ldots + l_{kln} = \\ = l(d) = d_{optim} \tag{6-14}$$

Drumul minim în graful studiat se realizează pe traseul $d(x_n, \ldots, x_k, \ldots, x_{kl} = x_0)$. Aplicarea în practică a algoritmului Ford pentru găsirea drumului minim respectiv a celui maxim începe cu marcarea vîrfurilor prin $u_0 = 0$ și $u_i = +\infty$ și dacă diferența dintre vîrfurile respectă relația $(u_i - u_j) > l_{ij}$ atunci se fac modificări succesive înlocuind u_i prin $(u_i - l_{ij})$ pînă se respectă egalitatea $(u_n - u_{ki}) = l_{nki}$. Succesiunea de arce găsită formează traseul drumului.

Pentru determinarea drumului maxim într-un graf cu ajutorul algoritmului Ford se marchează vîrfurile $u_i = 0$ în faza inițială apoi se reindexează succesiv aceste vîrfuri cu ajutorul relației:

$$u_j^k = \max_{(x_i,\, x_j) \in U_{ij}} [U_i^{(k-1)} + l(x_i,\, x_j)] \tag{6-15}$$

Dacă toate modificările s-au determinat după noua indexare atunci vîrfurile care unesc arcele cu marjă zero formează drumul maxim în graf.

Algoritmul Bellman-Kalaba are la bază principiul optimalității care arată că o politică este optimală dacă la o perioadă dată, oricare ar fi deciziile precedente, deciziile care urmează a fi luate, constituie o politică optimală față de rezultatul deciziilor anterioare. Principiul optimalității aplicat la determinarea drumurilor optime (minime, maxime) dintr-un graf se enunță astfel: orice drum optim (minim, maxim) alcătuit din cel mult (r) arce este format din subdrumuri optime (minime, maxime) conținînd cel puțin (k) arce ($k < r$). Aplicarea algoritmului Bellman-Kalaba la determinarea drumului minim într-un graf rețea începe cu notarea drumului celui mai scurt prin (v_i) între vîrful x_i și vîrful final x_n. Valorile asociate arcelor se notează c_{ij}. Modelul matematic pentru găsirea drumului minim pe baza algoritmului Bellman-Kalaba are următoarea structură:

$$\begin{cases} v_i = \min\limits_{j \neq 1} (v_j + c_{ij}) & i = [0,\, 1,\, \ldots,\, (n-1)] \\ v_n = 0 \end{cases}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} l(x_i,\, x_j) & \text{dacă } (x_i,\, x_j) \in U \\ 0 & \text{dacă } i = j \\ +\infty & \text{dacă } (x_i,\, x_j) \notin U \end{cases} \tag{6-16}$$

Algoritmul începe prin a se recunoaște că $v_n^{(0)} = 0$ și $V_i^{(0)} = c_{in}$ pentru $i = 0,1, ..., (n-1)$. Pentru prima iterație (1) și pentru iterația (k) sistemul de ecuații (6—16) se poate scrie astfel:

$$\begin{cases} v_i^{(1)} = \min\limits_{i \neq j} (v_j^{(0)} + c_{ij}) \\ v_n^{(1)} = 0 \end{cases} \qquad i = [0, 1, ..., (n-1)]$$

$$\begin{cases} v_i^{(k)} = \min\limits_{j \neq i} (v_j^{(k-1)} + c_{ij}) \quad i = [0, 1, ..., (n-1)] \\ v_r^{(k)} = 0 \end{cases} \tag{6-17}$$

Algoritmul încetează cînd două iterații succesive conduc la același rezultat, $v_i^{(k)} = v_i^{(k+1)}$. Drumul minim între vîrfurile (x_0, x_n) este dat de valoarea (v_0^k). Modelul matematic al algoritmului Bellman-Kalaba pentru determinarea drumului maxim într-un graf are următoarea structură matematică:

$$\begin{cases} v_i = \max\limits_{j} (v_j + c_{ij}); \quad i = [1, ..., (n-1)] \\ v_n = 0 \end{cases} \tag{6-18}$$

Dacă se notează vîrful de origine al grafului (i) și vîrful final cu (n) atunci structura de calcul a drumurilor maxime pe baza algoritmului Bellman-Kalaba arată astfel:

$$\begin{aligned} & v_i^{(1)} = c_{in}; \quad v_n^{(1)} = 0 \quad i = [1, 2, ..., (n-1)] \\ & v_i^{(2)} = \max\limits_{j} (v_j^{(1)} + c_{ij}); \quad v_n^{(2)} = 0; \quad j = [1, 2, ..., (n)] \\ & \vdots \\ & v_i^{(k)} = \max (v^{j(k-1)} + c_{ij}); \quad v_n^{(k)} = 0 \end{aligned} \tag{6-19}$$

Dacă $v_i^{(k)} = v_i^{(k-1)}$ pentru $(i=1, ..., n)$ atunci algoritmul se oprește obținîndu-se valoarea drumului maxim $v_i^{(k)}$. Pentru un graf cu (n) vîrfuri fără circuite și fără bucle sînt necesare $k = (n-2)$ iterații pentru determinarea traseului de lungime maximă în graf. Algoritmul Bellman-Kalaba pentru determinarea drumului maxim din graful prezentat în figura (6.3) implică zece iterații. Pentru una din iterații calculul se face utilizînd datele din tabelul (6-1) în următoarea formă:

$$\begin{aligned} & v_6^{(3)} = \max\limits_{j} (v_j^{(2)} + c_{ij}) = \max\limits_{j} (v_j^{(2)} + c_{6j}) = \\ & \quad = \max (v_1^{(2)} + c_{61}; \; v_2^{(2)} + c_{62}; \; v_3^{(2)} + c_{63}; \\ & v_4^{(2)} + c_{61}; \; v_5^{(2)} + c_{65}; \; v_6^{(2)} + c_{66}; \; v_7^{(2)} + c_{67}; \\ & v_8^{(2)} + c_{68}; \; v_9^{(2)} + c_{69}; \; v_{10}^{(2)} + c_{610}; \; v_{11}^{(2)} + c_{611}; \\ & v_{12}^{(2)} + c_{612}) = \max [(-\infty) + (-\infty); \; (-\infty); \; (-\infty); \\ & (-\infty) + (-\infty); \; (-\infty) + (-\infty); \; (-\infty) + (-\infty); \; (13) + (0); \\ & (11) + (5); \; (13) + (-\infty); \; (7) + (8); \; (6) + (9); \\ & (2) + (-\infty); \; (0) + (-\infty)] = 16; \; v_6^{(3)} = 16; \end{aligned} \tag{6-20}$$

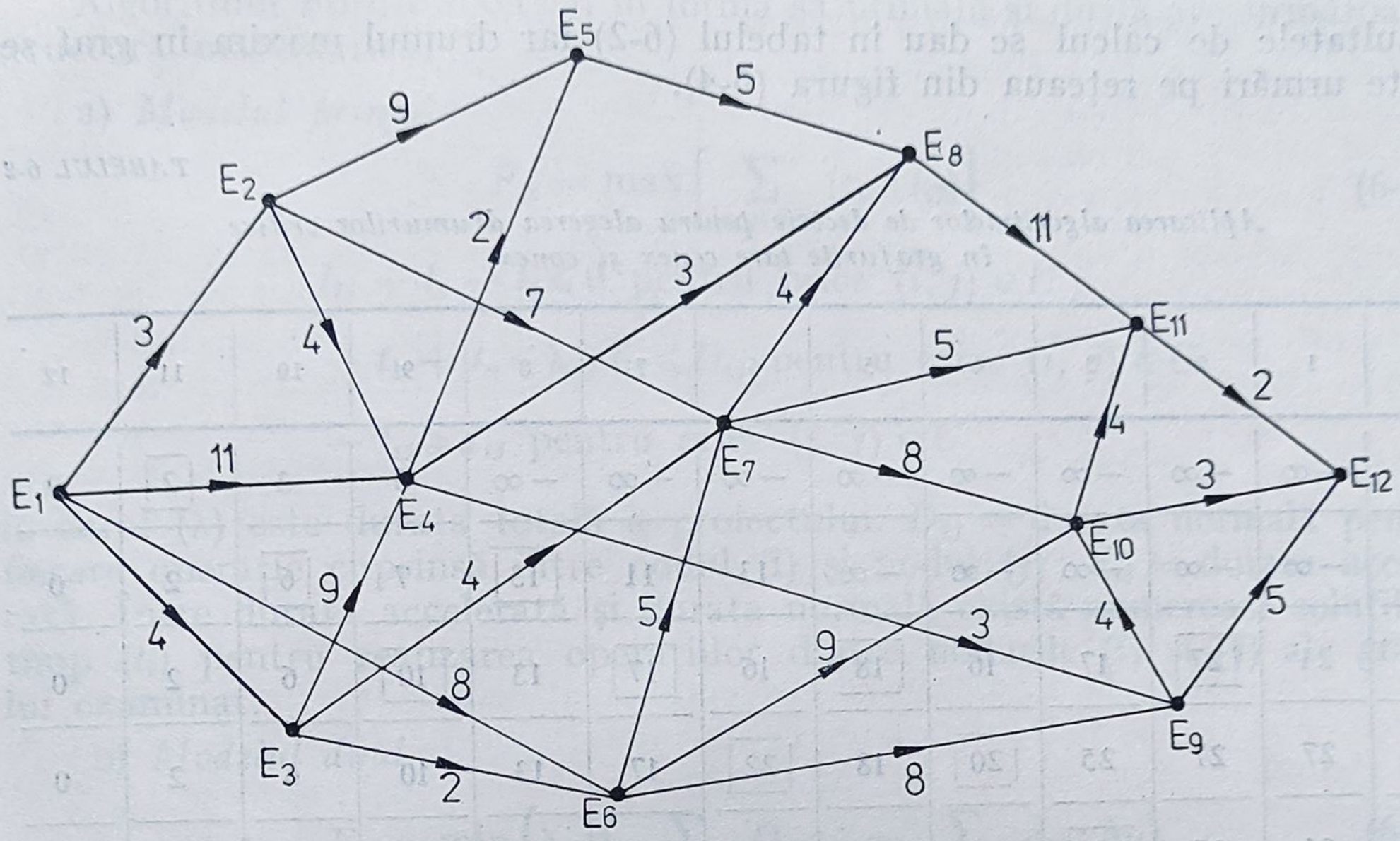


Fig. 6.3.

DRUMURI CRITICE ÎN GRAFURILE TARE CONEX ȘI CONEX.

TABELUL 6-1.

Aplicarea algoritmelor de decizie pentru alegerea drumurilor critice în grafurile tare conex și conex

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	3	4	11	$-\infty$	8	$-\infty$	$-\infty$	$\rightarrow$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
2	$-\infty$	0	7	9	$-\infty$	$-\infty$	7	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
3	$-\infty$	$-\infty$	0	9	$-\infty$	2	4	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
4	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	2	$-\infty$	$-\infty$	3	3	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
5	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	$-\infty$	$-\infty$	5	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
6	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	5	$-\infty$	8	9	$-\infty$	$-\infty$
7	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	4	$-\infty$	8	5	$-\infty$
8	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	$-\infty$	$-\infty$	11	$-\infty$
9	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	4	$-\infty$	5
10	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	4	3
11	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0	2
12	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	0

Rezultatele de calcul se dau în tabelul (6-2) iar drumul maxim în graf se poate urmări pe rețeaua din figura (6-4).

TABELUL 6-2

Aplicarea algoritmelor de decizie pentru alegerea drumurilor critice în grafurile tare conex și conex

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	5	3	[2]	0
2	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	13	11	[13]	7	[6]	2	0
3	21	[27]	17	16	[18]	16	[17]	13	[10]	6	2	0
4	27	27	25	[20]	18	[22]	17	13	10	6	2	0
5	31	27	[29]	20	18	22	17	13	10	6	2	0
6	[33]	27	29	20	18	22	17	13	10	6	2	0
7	33	27	29	20	18	22	17	13	10	6	2	0

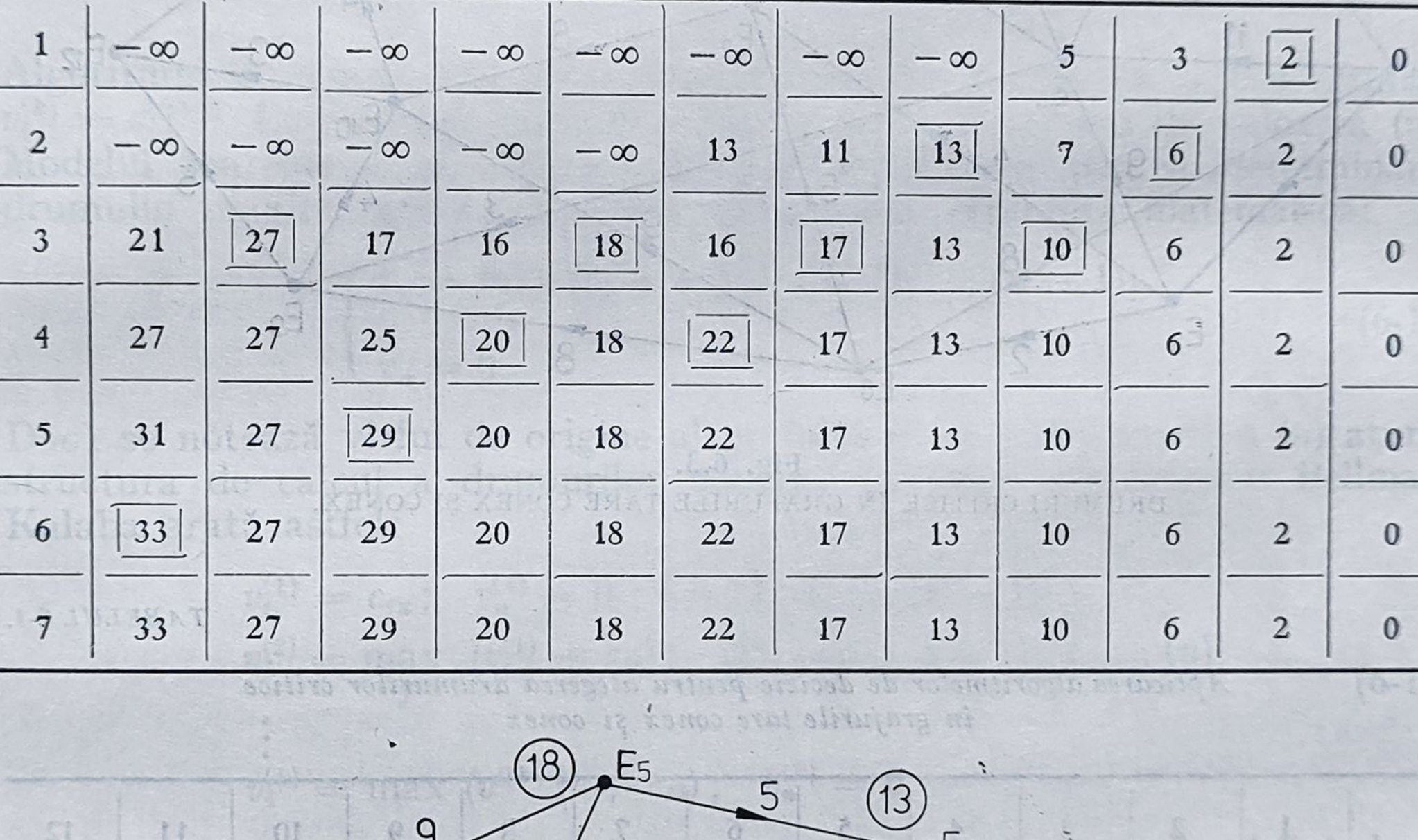


Fig. 6.4.

DRUMURI CRITICE ÎN GRAFURILE TARE CONEX ȘI CONEX.

Algoritmul Ford-Fulkerson în forma sa primală și duală are următoarea structură matematică:

a) *Modelul primal*

$$F_p = \max\left[\sum_{(i,\,j)\in U}(c_{ij}\cdot t_{ij})\right] \tag{6-21}$$

$$t_{ij} + t_i - t_j \leqslant 0 \text{ pentru orice } (i, j) \in U$$

$$-t_1 + t_n \leqslant \lambda;\ t_{ij} \leqslant D_{ij} \text{ pentru orice } (i, j) \in U$$

$$-t_{ij} \geqslant d_{ij} \text{ pentru orice } (i, j) \in U$$

în care: (λ) este durata totală a proiectului. D_{ij} = durata normală pentru fiecare operație cuprinsă între nodul (i) și nodul (j); d_{ij} = durata accelerată. Între durata accelerată și durata normală există numeroase soluții de timp (t_i) pentru realizarea operațiilor dintre nodurile (i) și (j) ale grafului examinat.

b) *Modelul dual*

$$F_d = \min\left(\lambda_v + \sum_{(i,\,j)\in U} D_{ij}g_{ij} - \sum_{(i,\,j)\in U} d_{ij}\cdot h_{ij}\right) \tag{6-22}$$

$$f_{ij} + g_{ij} - h_{ij} = c_{ij} \text{ pentru orice } (i, j) \in U$$

$$\sum_{(i,\,j)\in U_i^+} f_{ij} - \sum_{(j,\,i)\in U_i^-} f_{ij} = \begin{cases} 0 \text{ pentru } i \neq 1;\ i \neq n \\ -v \text{ pentru } i = n \\ +v \text{ pentru } i = 1 \end{cases}$$

în care:

$U_i^+;\ U_i^-$ = submulțimile arcelor incidente în nodul (i^+) către exterior și a celor incidențe în nodul (i^-) către interior; (f_{ij}); (g_{ij}) (v_i); (h_{ij}) = variabile de abateri nenegative.

Dacă se exprimă (g_{ij}) și (h_{ij}) în funcție de (f_{ij}) și se înlocuiește (f_{ij}) printr-o sumă de două variabile nenegative rezultă:

$$g_{ij} = \max[0,\ c_{ij} - f_{ij}];\quad h_{ij} = \max[0,\ f_{ij} - c_{ij}]$$
$$f_{ij} = f_{ij,1} + f_{ij,2};\ f_{ij,2} \leqslant c_{ij};\ f_{ij,2} < \infty. \tag{6-23}$$

Cu aceste notații programul dual Fulkerson se poate scrie sub următoarea formă:

$$F_a = \min\left(\lambda_v - \sum_k \sum_{(i,\,j)\in U_i} d_{ij,\,k} f_{i,\,j,\,k}\right) \tag{6-24}$$

$$\sum_k \sum_{(i,\,j)\in U_i^+} f_{ij,\,k} - \sum_k \sum_{(i,\,j)\in U_i^-} f_{i,\,j,\,k} = \begin{cases} 0;\ i = 1;\ i = n \\ -v;\ i = n \\ +v;\ i = 1 \end{cases}$$

$$0 \leqslant f_{i,\,j,\,k} \leqslant c_{i,\,j,\,k}$$

Aplicarea algoritmului Ford-Fulkerson la determinarea fluxului într-o rețea trebuie să respecte etapele de afișaj al vîrfului grafului, schimbarea fluxului și schimbarea evenimentelor pe baza regulilor matematice formulate în literatură [24] [30]. Un exemplu de calcul privind aplicarea în practică a algoritmului Ford-Fulkerson se poate urmări în literatură [13].

Algoritmul drumului critic permite găsirea duratei optime de executare a unor lucrări reale (proiectate, montarea agregatelor, atingerea parametrilor proiectați ai obiectivelor energetice în timpul prevăzut etc.) în funcție de timpul afectat, forța de muncă disponibilă, mijloacele financiare și materiale necesare, utilajele avute la dispoziție și a procedeelor de mecanizare și automatizare a operațiilor din graful care modelează activitățile obiectivelor cercetate. Pe baza acestui algoritm se evidențiază legăturile și interdependențele dintre evenimentele unui proces în desfășurarea lui dinamică stabilindu-se succesiunea rațională a activităților, precizia duratelor și termenelor necesare desfășurării operațiilor și se stabilesc măsuri pentru controlul executării întregii lucrări cu scopul reducerii cheltuielilor inutile de timp, de materiale și de fonduri financiare. Pentru determinarea drumului critic care este definit ca drumul maxim din graful ce modelează obiectivul cercetat se folosesc algoritmele prezentate anterior, ținînd seama că drumul critic însumează operațiile critice adică operațiile fără marjă de timp de pe traseul succesiunii logice a procesului tehnologic. Începutul și sfîrșitul operațiilor poartă denumirea de evenimente. Durata operației reprezintă timpul care desparte două evenimente. Duratele operațiilor și ordinea lor trebuie cunoscute (în univers determinist sau probabilist) pentru a se putea trasa graficul rețea și pentru a calcula drumul critic. Graful care modelează evenimentele și duratele operațiilor unei lucrări se poate construi pe bază metodei CPM sau a metodei potențialelor. Metoda CPM (Critical Path Metod) permite construirea grafelor astfel ca în vîrfuri să apară evenimentele, iar pe arce operațiile. Metoda potențialelor stabilită de Roy înlesnește construirea grafurilor pentru diverse lucrări la care arcele corespund evenimentelor, iar vîrfurile exprimă operațiile. În grafuri la care duratele apar pe arce iar evenimentele pe vîrfuri, rețeaua devine ponderată. Ponderile pot fi certe sau incerte și se determină cu relații de calcul stabilite în cadrul metodelor CPM; CPS (Critical Path Scheduling Mathematical Basis); PERT (Program and Review Technique) și GERT (Graphical Evaluation and Review Technique). Primele două metode operează cu durate în orizont nealeatorii iar ultimele două cu durate în orizont aleatoriu. Aceste metode (CPM; CPS; PERT; GERT) au fost precedate de metoda Gantt care permite construirea graficului calendaristic de desfășurare în timp a operațiilor reale critice și necritice. Modelele pentru realizarea optimală a unor lucrări pe baza algoritmului drumului critic pot fi construite în structură deterministă sau probabilistă pentru sisteme discrete respectiv continue și se pot referi fie la determinarea duratei totale de realizare a unor lucrări, fie la stabilirea costului total minim pentru finalizarea obiectivelor complexe. Aplicarea în practică a unor asemenea modele denumite PERT-TIME respectiv PERT-COST a permis reducerea duratelor de executare a operațiilor cu circa 20% și scăderea costurilor cu circa 6% față de metodele clasice.

Structura modelului matematic pentru ingineria organizării lucrărilor complexe în concepție sistemică pe baza teoriei grafelor are următoarea formă:

$$Z_{tg}^{d(pr)} = \sum_{k=1}^{3} Z_{spk}^{tg} \cdot t_{r1k} = (Z_{spp}^{tg} \cdot t_{rep} + Z_{spm}^{tg} \cdot t_{rem} + \\ + Z_{sppt}^{tg} \cdot t_{rpt}) = (Z_{tg}^{p} + Z_{tg}^{m} + Z_{tg}^{pt} + Z_{tg}^{dv} \qquad (6\text{-}25)$$

$$Z_{tg}^{p} = (Z_{tg}^{cer} + Z_{tg}^{pro} + Z_{tg}^{npp})_{p}; \quad Z_{tg}^{m} = (Z_{tg}^{os} + Z_{tg}^{rob} + Z_{tg}^{npm})_{m};$$

$$Z_{tg}^{pt} = (Z_{tg}^{ap} + Z_{tg}^{per} + Z_{tg}^{exp})_{pt}; \quad Z_{tg}^{dv} = (Z_{tg}^{p} + Z_{tg}^{m} + Z_{tg}^{pt})_{dv}$$

Restricțiile se referă în principal la respectarea termenilor: de realizare a proiectului, de montaj a obiectivului și de atingerea parametrilor proiectați fără a se afecta calitatea lucrărilor de proiectare, montaj și probe tehnologice. Ele trebuie să reflecte și limitele resurselor materiale, umane și energetice posibile de-a fi utilizate eficient în cadrul procesului cercetat. În (6—25) intervin: $Z_{tg}^{d(pr)}$ = cheltuielile totale deterministe (d) respectiv probabiliste (pr) rezultate la aplicarea în concepție sistemică a teoriei grafelor în proiectarea și realizarea obiectivului de montaj inclusiv efectuarea probelor tehnologice; $Z_{sp_k}^{tg}$ = cheltuielile specifice pe unitatea de timp ($u \cdot t$) care pot fi de forma cheltuielilor totale anuale cînd lucrările se planifică și se realizează într-un an sau pot fi de forma cheltuielilor totale actualizate cînd lucrările se planifică și se realizează pe duratele de timp mai mari decît un an. Aceste cheltuieli cît și timpii de realizare a lucrărilor (t_{rep}; t_{rem}; t_{rpt}) se pot determina la nivelul proiectării (t_{rep}; Z_{spp}), a montajului inclusiv a problemelor tehnologice (t_{rem}; Z_{spm}; t_{rpt}; $Z_{sp\,pt}$); Z_{tg}^{p}; Z_{tg}^{m}; Z_{tg}^{pt} = cheltuielile totale în teoria grafelor la nivelul proiectării (Z_{tg}^{p}); nivelul montajului (Z_{tg}^{m}) și la nivelul probelor tehnologice (Z_{tg}^{pt}); Z_{tg}^{cer} = cheltuielile totale pentru cercetare; Z_{tg}^{pro} = cheltuielile totale pentru proiectare; Z_{tg}^{npp} = cheltuielile neprevăzute la proiectarea obiectivului; Z_{tg}^{os} = cheltuielile pentru organizarea șantierului; Z_{tg}^{rob} = cheltuielile pentru realizarea obiectivului; Z_{tg}^{npm} = cheltuielile pentru lucrări neprevăzute datorită schimbării stării naturii; Z_{tg}^{ap} = cheltuielile pentru aparatele de măsură necesare realizării probelor tehnologice; Z_{tg}^{per} = cheltuielile pentru instruirea personalului care efectuează probele tehnologice; Z_{tg}^{exp} = cheltuielile pentru repetarea experiențelor realizate pe teren; Z_{tg}^{dv} = cheltuieli diverse.

Duratele de realizare a obiectivelor la nivelul proiectării și montajului lucrărilor tehnologice se predetermină din graful rețea întocmit separat pentru proiectul de concepere și proiectare a obiectivului și separat pentru montajul lui, inclusiv pentru realizarea probelor tehnologice. Pentru determinarea acestor durate trebuie să se cunoască timpii de realizare a evenimentelor și probabilităților realizării acestora.

Determinarea duratei totale de realizare a unei lucrări se face cu ajutorul următoarelor relații:

$$t_j^{dr} = \begin{cases} 0 & \text{pentru } j = 1 \\ \max\limits_{(i,\,j)\in U} (t_i + t_{ij}); & 1 < j \leqslant n \end{cases}$$

$$r_i^{in} = \begin{cases} n & \text{pentru } i = n \\ \min\limits_{(i,\,j)\in U} (t_j^{in} - t_{ij}); & 1 \leqslant i < n \end{cases} \qquad (6\text{-}26)$$

în care: n = numărul nodurilor; t_n = durata obținută cînd se parcurge graful în sens direct (t_j^{dr}); t_i^{in} = durata totală cînd se parcurge graful în sens invers; U = mulțimea arcelor din graf; t_i = timpul de la care începe parcurgerea grafului în sens direct $(i = 1, \ldots n)$; t_j = timpul la care începe parcurgerea grafului în sens invers $(j = n, \ldots, 1)$; t_{ij} = durata evenimentelor pe arce. Parcursul direct generează un program minorant iar parcursul invers duce la un program majorant al lucrării modelate în teoria grafelor. Dacă duratele evenimentelor din graf sînt aceleași la ambele parcursuri (direct și invers) atunci operațiile nu au rezervă de timp (marjă de timp) și se numesc operații critice. Marjele de timp (M_t) totală; (M_l) liberă; (M_i) independentă și (M_m) intermediară se calculează cu datele din figura (6.5) cu următoarele relații matematice.

$$M_t = t_j^1 - t_{ij} - t_i^0; \quad M_l = t_j^0 - t_i^0 - t_{ij};$$
$$M_i = t_j^0 - t_i^1 - t_{ij}; \quad M_m = t_j^1 - t_{ij} - t_i^1 \qquad (6\text{-}27)$$

Pentru fiecare activitate se pot defini atît termenii de începere minim și maxim (6—28) a, termenii de finalizare minim și maxim (6—28) b cît și duratele de desfășurare a acestora (6—28)c.

$$\text{a) } t_{si} = t_i^0; \quad t_{sf} = t_f^{in} - t_{ij} = t_i^1 \qquad (6\text{-}28)$$

$$\text{b) } t_{st} = t_{si} + t_{ij} = t_j^0; \quad t_{sf}^{in} = t_f^{in} = t_i^{in} = t_j^{(1)}$$

$$\text{c) } t_{ij}^{(d)} = \frac{V_1}{N_p \cdot n_p \cdot k_{in}}; \quad t_{ij}^{(pr)} = \frac{t_{ij}^{op} + 4t_{ij}^{m} + t_{ij}^{ps}}{6}$$

$$\sigma^2 = \frac{(t_{ij}^{ps} - t_{ij}^{op})^2}{36}; \quad \sigma = \left[\frac{(t_{ij}^{ps} - t_{ij}^{op})^2}{36}\right]^{1/2}$$

în care t_{si}= termenul minim de începere a unei activități este egal cu termenul minim al evenimentului (t_i^0); t_{sf} = termenul maxim de începere a unei activități se obține scăzînd din termenul maxim de terminare (t_f^{in}) durata activității (t_{ij}); t_{st} = termenul minim de terminare al unei activități este egal cu suma dintre termenul minim (t_{si}) de începere și durata activității (t_{ij}); t_{sf}^{in} = termenul maxim de terminare a unei activități este egal cu termenul maxim al evenimentului $t_j^{(1)}$; $t_{ij}^{(d)}$ = durata deterministă a activității; V_1 = volumul de lucrări; N_p = numărul de lucrători; n_p = norma; k_{in} = coeficient de îndeplinirea normelor; $t_{ij}^{(pr)}$ = durata probabilistă a unei operații

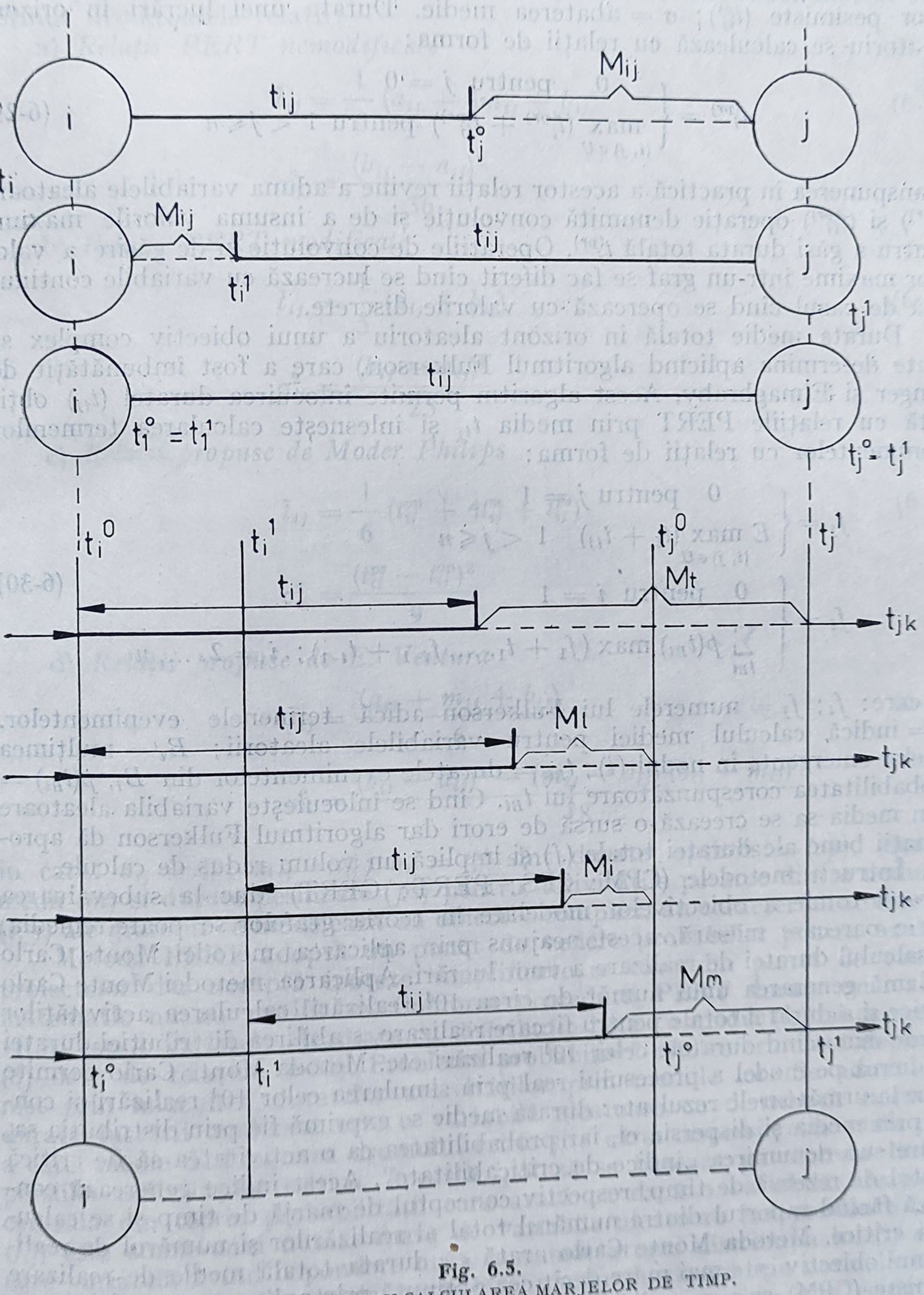


Fig. 6.5.

DIAGRAMĂ PENTRU CALCULAREA MARJELOR DE TIMP.

determinată pe baza duratelor optimiste (t_{ij}^{op}); a duratelor medii (t_{ij}^{m}) și a duratelor pesimiste (t_{ij}^{ps}); σ = abaterea medie. Durata unei lucrări în orizont aleatoriu se calculează cu relații de forma:

$$t_i^{(pr)} = \begin{cases} 0 \quad \text{pentru } j = 0 \\ \max\limits_{(i,\ j) \in U} (t_i^{(pr)} + t_{ij}^{(pr)}) \text{ pentru } 1 < j \leqslant n \end{cases} \tag{6-29}$$

Transpunerea în practică a acestor relații revine a aduna variabilele aleatoare ($t_i^{(pr)}$) și ($t_{ij}^{(pr)}$) operație denumită convoluție și de a însuma valorile maxime pentru a găsi durata totală $t_j^{(pr)}$. Operațiile de convoluție și de găsire a valorilor maxime într-un graf se fac diferit cînd se lucrează cu variabile continue față de cazul cînd se operează cu valorile discrete.

Durata medie totală în orizont aleatoriu a unui obiectiv complex se poate determina aplicînd algoritmul Fulkerson, care a fost îmbunătățit de Clinger și Elmaghraby. Acest algoritm permite înlocuirea duratei (t_{ij}) obținută cu relațiile PERT prin media t_{ij} și înlesnește calcularea termenilor evenimentelor cu relații de forma:

$$f_j = \begin{cases} 0 \quad \text{pentru } j = 1 \\ E \max\limits_{(i,\ j) \in U} (t_i + t_{ij}) \quad 1 < j \leqslant n \end{cases}$$

$$f_i = \begin{cases} 0 \quad \text{pentru } i = 1 \\ \sum\limits_{t_{Bi}} p(t_{Bi}) \max (f_1 + t_1, \ldots, f_{i-1} + t_{i-1});\ i = 2, \ldots, n \end{cases} \tag{6-30}$$

în care: f_i; f_j = numerele lui Fulkerson adică termenele evenimentelor. E = indică calculul mediei pentru variabilele aleatorii; B_i = mulțimea arcelor emergente în nodul (i); t_{Bi} = duratele evenimentelor din B_i, $p(t_{Bi})$ = probabilitatea corespunzătoare lui t_{Bi}. Cînd se înlocuiește variabila aleatoare prin media sa se creează o sursă de erori dar algoritmul Fulkerson dă aproximații bune ale duratei totale (f) și implică un volum redus de calcule.

Întrucît metodele (CPM; CPS; PERT; GERT) duc la subevaluarea duratei totale a obiectivelor modelate în teoria grafelor se poate remedia, într-o oarecare măsură, acest neajuns prin aplicarea metodei Monte Carlo la calculul duratei de realizare a unor lucrări. Aplicarea metodei Monte Carlo reclamă generarea unui număr de circa 10^4 realizări, calcularea activităților critice și a duratei totale pentru fiecare realizare, stabilirea distribuției duratei totale cunoscînd duratele celor 10^4 realizări etc. Metoda Monte Carlo permite studierea pe model a procesului real prin simularea celor 10^4 realizări și conduce la următoarele rezultate: durata medie se exprimă fie prin distribuția sa, fie prin media și dispersia ei, iar probabilitatea ca o activitatea să fie critică apare sub denumirea „indice de criticabilitate". Acest indice generează conceptul de rezervă de timp, respectiv conceptul de marjă de timp și se calculează făcînd raportul dintre numărul total al realizărilor și numărul de realizări critice. Metoda Monte Carlo arată că durata totală medie de realizare a unui obiectiv este mai mare decît cea obținută prin aplicarea metodei deterministe (CPM) și a metodei probabiliste (PERT). Pentru că metoda Monte Carlo este costisitoare s-a încercat să se aducă unele îmbunătățiri metodei

PERT prin schimbarea relațiilor de calcul ale duratei evenimentelor și s-au obținut următoarele relații:

a) *Relații PERT nemodificate*

$$\bar{t}_{ij} = \frac{1}{6}(a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}) \tag{6-31}$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{36}$$

b) *Relații PERT modificate*

$$\bar{t}_{ij} = \frac{1}{5}(a_{ij} + b_{ij}) \tag{6-32}$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{25}$$

c) *Relații propuse de Moder Philips*

$$\bar{t}_{ij} = \frac{1}{6}(t_{ij}^{op} + 4t_{ij}^{m} + t_{ij}^{ps}) \tag{6-33}$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(t_{ij}^{ps} - t_{ij}^{op})^2}{9}$$

d) *Relații propuse de E. Ventura*

$$\bar{t}_{ij} = \frac{(a_{ij} + m_{ij} + b_{ij})}{6} \tag{6-34}$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2 - (m_{ij} - a_{ij})(b_{ij} - m_{ij})}{18}$$

în care: $a_{ij} = t_{ij}^{op}$; $m_{ij} = t_{ij}^{m}$; $b_{ij} = t_{ij}^{ps}$ sînt durate optimiste (op), durate medii (m) și durate pesimiste (ps) pentru activitățiie pe arce dintre nodurile (i, j) ale grafului ce modelează un obiectiv complex, au caracter aleatoriu.

Metoda PERT adoptă un punct de vedere probabilist pentru analiza proiectelor dar acceptă ipoteze simplificatoare care din punct de vedere matematic nu au justificare. Conform procedurii PERT durata unei activități este o variabilă aleatoare cu distribuție beta cu media ($\bar{t}_{ij}$) și dispersia (σ) date de relațiile (6-31). Problema probabilistă este reformulată determinist prin înlocuirea duratelor activităților prin mediile lor. Se admite că durata lucrării analizate este o variabilă aleatoare cu distribuție normală a cărei medie dă lungimea drumului critic și a cărei dispersie este suma dispersiilor activităților critice. Această ipoteză se bazează pe teorema limită centrală din teoria probabilității care arată că dacă o variabilă aleatoare ($\bar{t}_{ij}$) este suma unui număr mare de variabile aleatoare independente (fiecare variabilă avînd o pondere mică în sumă) atunci distribuția lui (t) este foarte aproape de distribuția normală. Funcția de distribuție normală este definită prin densitatea de repartiție. Densitatea de repartiție este egală cu prima derivată a funcției de repartiție. Dacă se reprezintă grafic densitatea de

repartiție se obține curba normală sau clopotul lui Gaus care permite determinarea probabilității de realizare a duratei lucrărilor pe baza variabilei reduse (Z).

$$Z = \frac{t_f^{pl} - t_j^{dr}}{\sigma}; \quad P(t_j^{dr} \leqslant t_f^{pl}) = f(Z) \tag{6-35}$$

în care t_f^{pl} = durata planificată; t_j^{dr} = durata calculată a lucrărilor.

Probabilitatea corespunzătoare diferitelor valori ale lui (Z) se poate prelua din tabelul distribuției normale (tabelul (6-3)). Dacă probabilitatea

TABELUL 6-3

Valorile probabilităților de realizare a drumurilor critice în funcție de variabila redusă (Z)

z	$P(z)$	z	$P(z)$	z	$P(z)$	z	$P(z)$	z	$P(z)$
−3,00	0,001	−1,18	0,119	−0,38	0,352	0,42	0,663	1,22	0,888
−2,90	0,002	−1,16	0,123	−0,36	0,359	0,44	0,670	1,24	0,892
−2,80	0,003	−1,14	0,127	−0,34	0,367	0,46	0,677	1,26	0,896
−2,70	0,004	−1,12	0,131	−0,32	0,374	0,48	0,684	1,28	0,900
−2,60	0,005	−1,10	0,136	−0,30	0, 82	0,50	0,691	1,30	0,903
−2,50	0,006	−1,08	0,140	−0,28	0,390	0,52	0,698	1,32	0,907
−2,40	0k009	−1,06	0,145	−0,26	0,397	0,54	0,706	1,34	0,910
−2,30	0,0011	−1,04	0,149	−0,24	0,405	0,56	0,712	1,36	0,913
−2,25	0,012	−1,02	0,154	−0,22	0,413	0,58	0,719	1,38	0,916
−2,20	0,014	−1,00	0,159	−0,20	0,421	0,60	0,726	1,40	0,910
−2,15	0,016	−0,98	0,164	−0,18	0,429	0,62	0,732	1,42	0,922
−2,10	0,018	−0,96	0,169	−0,16	0,436	0,64	0,733	1,44	0,925
−2,05	0k020	−0,94	0,174	−0,14	0,444	0,98	0,745	1,46	0,928
−2,00	0,023	−0,92	0,179	−0,12	0,452	0,68	0,752	1,48	0,930
−1,95	0,026	−0,90	0,184	−0,10	0,460	0,70	0,758	1,50	0,938
−1,90	0,029	−0,88	0,189	−0,08	0,468	0,72	0,764	1,54	0,938
−1,85	0,032	−0,86	0,195	−0,06	0,476	0,74	0,770	1,58	0,948
−1,80	0,036	−0,84	0,200	−0,04	0,484	0,76	0,776	1,62	0,947
−1,75	0,040	−0,82	0,206	−0,02	0,492	0,78	0,782	1,66	0,952
−1,70	0,045	−0,80	0,212	0	0,500	0,80	0,788	1,70	0,955
−1,66	0,048	−0,78	0,218	0,02	0,508	0,82	0,794	1,75	0,960
−1,62	0,053	−0,76	0,224	0,04	0,516	0,84	0,800	1,80	0,964
−1,58	0,057	−0,74	0,230	0,06	0,524	0,86	0,806	1,85	0,968
−1,54	0,062	−0,72	0,236	0,08	0,532	0,88	0,811	1,90	0,971
−1,50	0,067	−0,70	0,242	0,10	0,540	0,90	0,816	1,94	0,974
−1,48	0,069	0,68	0,248	0,12	0,548	0,92	0,821	2,00	0,977
−1,46	0,072	−0,66	0,255	0,14	0,556	0,94	0,826	2,05	0,900
−1,44	0,075	−0,64	0,261	0,16	0,564	0,96	0,831	2,10	0,982
−1,42	0,078	−0,62	0,268	0,18	0,571	0,98	0,836	2,15	0,984
−1,40	0,081	−0,60	0,274	0,20	0,579	1,00	0,841	2,20	0,986
−1,38	0,084	−0,58	0,281	0,22	0,587	1,02	0,846	2,25	0,988
−1,36	0,087	−0,56	0,288	0,24	0,595	1,04	0,851	2,30	0,989
−1,34	0,109	−0,54	0,295	0,26	0,603	1,06	0,855	2,40	0,922
−1,32	0,093	−0,52	0,302	0,28	0,610	1,08	0,860	2,50	0,994
−1,30	0,097	−0,50	0,309	0,30	0,618	1,10	0,864	2,60	0,995
−1,28	0,100	−0,48	0,316	0,32	0,626	1,12	0,869	2,70	0,997
−1,26	0,104	−0,46	0,323	0,34	0,633	1,14	0,873	2,80	0,995
−1,24	0,107	−0,44	0,330	0,36	0,641	1,16	0,877	2,90	0,980
−1,22	0,111	−0,42	0,337	0,38	0,648	1,18	0,881	3,00	0,990
−1,20	0,115	−0,40	0,345	0,40	0,656	1,20	0,896		

are valoarea 0,5 atunci rezultă o programare judicioasă a lucrărilor și obiectivul poate fi realizat în condiții normale.

Pentru probabilități mai mici ca 0,3 proiectul nu se poate realiza decît în condiții de mare risc. Evitarea riscului se face în astfel de cazuri prin refacerea întregului proiect. Dacă probabilitatea depășește valoarea 0,6 înseamnă că resursele sînt utilizate nerațional.

Dacă se revine la analiza modelelor (6-25) se poate face recomandarea ca cheltuielile totale și cele specifice să se determine cu ajutorul teoriilor cercetării operaționale așa cum rezultă din structura modelelor ingineriei organizării sistemelor de energie.

Modelul agregat al cheltuielilor totale bazat pe teoria grafelor aplicată la realizarea montajului unui obiectiv energetic are următoarea structură operațională:

$$Z_{tg}^{m} = (Z_{tg}^{sat} + Z_{tg}^{eor} + Z_{tg}^{imp} + Z_{tg}^{iav} + Z_{tg}^{dvn}). \qquad (6\text{-}36)$$

în care: Z_{tg}^{sat} = cheltuielile cu gestiunea resurselor materiale și energetice care reclamă rezolvarea problemelor legate de nivelul și mișcarea stocurilor, a problemelor de așteptare a utilajului tehnologic de pe șantier; Z_{tg}^{eor} = cheltuielile totale generate de teoria echipamentelor de montaj și cele legate de programarea resurselor și a lucrărilor pe locuri de muncă, inclusiv alocarea și nivelarea tuturor formelor de resurse materiale; Z_{tg}^{imp} = cheltuielile totale ocazionate de aplicarea ingineriei umane și a teoriei prognozei la nivelul șantierelor de montaj care reclamă stabilirea structurii organigramei echipei de conducere și de executare a lucrărilor atît la un moment dat cît și în perspectivă; Z_{tg}^{iav} = cheltuielile rezultate din aplicarea la nivelul montajului a ingineriei și a analizei valorii legate în special de reproiectarea instalațiilor de montaj și de cibernetizarea întregii activități productive prin mecanizarea și automatizarea lucrărilor; Z_{tg}^{dvn} = cheltuielile legate de preluarea riscului, care apare datorită schimbării stărilor naturii avute în vedere la elaborarea proiectului inițial.

Soluția optimă din punct de vedere tehnico-economic, rezultă prin extremizarea cheltuielilor totale (Z_{tg}^{m}) în condiții de restricții impuse sistemului de mediu. Restricțiile se referă la încadrarea lucrării în cuantuum de resurse planificat sau realizarea obiectivului cu resurse materiale mai reduse decît cele prevăzute inițial. Duratele de stocare a resurselor și cele privind așteptarea la toate nivelele de montaj să fie cît mai mici cu putință. Respectarea termenului minim de începere a unor activități ținînd seama de restricțiile de succesiune impuse de tehnologia proiectului, a restricțiilor temporale impuse de duratele activităților precedente și a restricțiilor cumulative impuse de disponibilul de resurse. Aceste tipuri de restricții pot mări durata totală a montajului față de durata obținută pe baza drumului critic.

La aceste tipuri de restricții se mai adaugă cele legate de aplicarea algoritmului cu un volum dat de resurse umane, ceea ce implică nivelarea acestora în decursul desfășurării în timp a lucrărilor de montaj. În acest context se rezolvă și problemele legate de structura organigramei șantierului pe baza relațiilor de serviciu și a indicilor de centralitate și periferism de la nivelul

fiecărui post de lucru. O categorie specială de restricții se referă la nedepășirea cheltuielilor legate de teoria riscului, ceea ce reclamă evitarea defectelor entropice de la nivelul întregului șantier prin măsuri operative de programare și control a tuturor activităților de producție.

Problemele legate de gestiunea stocurilor la nivelul șantierelor de montaj se referă la: determinarea stocului optim de resurse (Q) inclusiv a comenzii pentru aprovizionare și a ritmului acestor comenzi (r_{ap}), stabilirea productivității macaralelor de montaj ținînd seama de fenomenele de așteptare (P_m) și de dimensionarea depozitelor (S_d). Relațiile pentru determinarea acestor mărimi au următoarea structură:

$$Q = q + c_{ra}; \quad q = k_r \cdot \sqrt{\bar{B}_i} = \sqrt{\frac{2\bar{B}_i \cdot c_l}{c_s}} \cdot \left[\frac{c_s + c_r}{c_r}\right]^{1/2}$$

$$c_{ra} = \bar{B}_i + k_s\sigma^2; \quad Q = (k_r\sqrt{\bar{B}_i} + \bar{B}_i + k_s\sigma^2) \tag{6-37}$$

$$r_{ap} = \frac{q}{B_i} = \frac{k_r \cdot \sqrt{\bar{B}_i}}{\bar{B}_i} = \frac{k_r}{\sqrt{B_i}}; \quad S_d = \frac{Q}{q} = \left(1 + \frac{c_{ra}}{q}\right)(m^2)$$

$$P_m = \frac{t_{sch}}{T_c} C_p \cdot k_{intg} = \left(\frac{t_{sch}}{T_c} \cdot C_p \cdot k_{int} \cdot k_{ext}\right) = \frac{C_m^t}{h} \quad \text{(tone/schimb)}$$

în care:

$k_r = \sqrt{\frac{2c_l(c_s + c_r)}{c_s \cdot c_r}}$; c_l = cheltuielile de lansare pe comandă; c_s = cheltuielile de stocare pe unitatea de timp; c_r = cheltuieli de penurie; B_i = speranța matematică a necesarului de resurse materiale într-o perioadă prestabilită; k_s = coeficient de siguranță pentru acoperirea cererii aleatoare de resurse; σ^2 = abaterea medie pătratică; t_{sch} = durata schimbului de lucru; T_c = durata unui ciclu; C_p = capacitatea portantă a macaralei de montaj; k_{intg} = indicele integral de utilizare a capacității utilajului; k_{int}; k_{ext}; = indicii intensiv și extensiv de folosire a capacității macaralei; c_m^t = cantitatea montată în timpul (t); h = numărul de ore de funcționare al macaralei în timpul (t).

Modelele matematice de gestiune a stocurilor cuprind atît cheltuielile cu achiziția resurselor, stocarea și penuria lor cît și cheltuieli cu așteptarea (perioade neproductive ale utilajelor destinate montajului) și operează cu funcții de eficiență de forma:

$$Z_{sa}^{tac} = \sum_{i=1}^{n_a} (1 + p_n)^{-i} \left[Q_a t_a c_a + Q_s t_s c_s + Q_p t_p c_p + \frac{(N_b \cdot \bar{v})\, c_1}{\lambda} T + \right.$$

$$\left. + \left(S - \frac{\lambda}{\mu}\right) T c_2 + (n_a i_{sp}^d + S i_{sp}^p)\right] - R_{sa}^{tac}$$

$$Z_{sa}^{tc} = \left[Q_a t_a c_a + Q_s t_s c_s + Q_p t_p c_p + \frac{N_b \bar{v} c_1}{\lambda} + \left(S - \frac{\lambda}{\mu}\right) T c_2 + p_n (n_a i_{sp}^d + S i_{sp}^s)\right];$$

în care:

p_n = coeficient normat al eficienței economice; Q_a; Q_s; Q_p = cantitățile de resurse achiziționate (Q_a), cele stocate (Q_s) și cele în penurie (Q_p) pe duratele de achiziție (t_a); de stocare (t_s) și de penurie (rupere de stoc) (t_p); c_a; c_s; c_p = costurile aferente; N_b = numărul de blocuri preasamblate care trebuie montate în timpul (T); $\bar{v}$ = numărul de unități în șirul de așteptare = $\sum (n - S)p(n)$; n = numărul mediu al unităților în schema de așteptare; S = numărul stațiilor de deservire a blocurilor de montaj; $p(n)$ = probabilitatea de-a avea (n) unități în schema de așteptare. Valorile pentru (v) și $p(n)$ se calculează atît pentru $S = (1 \ldots n)$ cît și pentru diverse tipuri de probabilități care guvernează atît sosirile unităților în sistem cît și servirile în regim staționar și nestaționar; c_1; c_2 = costurile unitare de așteptare la nivelul unităților din șirul de așteptare și costul inactivității stațiilor de deservire în condiții de prioritate și restricții impuse; λ; μ = ritmul sosirilor și al serviciilor unităților din sistem; n_d = numărul depozitelor; i_{sp}^d; i_{sp}^s = investițiile specifice pentru depozit (d) și pentru stație (S); Z_{sa}^{tac}; Z_{sa}^{tc} = cheltuielile totale actualizate (Z_{sa}^{tac}) și cheltuielile totale anuale de calcul (Z_{sa}^{tc}).

Costul de aprovizionare cuprinde costul de achiziție și costul de lansare a comenzii. Costul de achiziție reflectă costul resurselor și costul transportului. Costul de stocare cuprinde atît cheltuielile cu stocarea resurselor (întreținerea depozitelor, dobînzi pentru fondurile imobilizate în stocuri; retribuții ale personalului de deservire a depozitului; costul pierderilor de resurse) și cheltuielile cu penalizarea generate de surplusul de resurse (stocuri supranormative). Costul de penurile sau costul lipsei resurselor din depozit reflectă cheltuielile care acoperă pagubele din producție cînd nu există resurse și cheltuielile suplimentare pentru procurarea de urgență a resurselor solicitate.

Soluția optimă rezultă din condiția de extrem (minim) a cheltuielilor (Z_{sa}^{tac}) sau (Z_{sa}^{tc}) în condiții de restricții impuse sistemului de mediu privind cantitatea și calitatea resurselor inclusiv cele generate de organizarea aprovizionării șantierelor în condiții de risc și incertitudine.

Cheltuielile totale generate de aplicarea teoriei echipamentelor și a teoriei ordonanțării la montajul obiectivelor energetice sînt legate de procurarea utilajelor, de întreținerea și repararea lor, de preluarea avariilor și de ordonanțarea lucrărilor pe diverse locuri de lucru. Determinarea acestor cheltuieli reclamă calculul numărului optim de utilaje de montaj (astfel ca ritmul servirilor să fie cel dorit), stabilirea structurii cheltuielilor totale pentru rețelele de alimentare cu energie a punctelor de lucru pe drumurile cele mai scurte din graful care modelează activitatea unui șantier și determinarea cheltuielilor de ordonanțare a lucrărilor, ținînd seama de pasul fluxului de montaj, de durata maximă a lucrării stabilite plecînd de la lungimea drumului critic, la care se adaugă cheltuielile generate de defectul entropic respectiv de repartiția neuniformă a resurselor (umane și materiale) pe diverse fronturi de lucru în perioadele de vîrf ale montajului. Funcțiile de eficiență ale modelelor

de optimizare a activităților legate de aplicarea teoriei echipamentelor și teoriei ordonanțării au următoarele structuri:

$$Z_{eor}^{tac} = (Z_{nut}^{tac} + Z_{dal}^{tac} + Z_{pom}^{tac} + Z_{dm}^{tac} + Z_{den}^{tac})$$

$$Z_{eor}^{tc} = (C_{nut} + C_{dal} + C_{pom} + C_{dm} + C_{den} + A) \qquad (6\text{-}39)$$

$$A = p_n(I_{nut} + I_{dal} + I_{pom} + I_{dm} + I_{den})$$

în care: Z_{nut}^{tac} = cheltuielile totale actualizate destinate achiziției, întreținerii și reparării utilajelor de montaj. Numărul utilajelor se poate optimiza pe baza ritmului optim de servire a unităților care așteaptă pe banda de montaj pentru a fi transportate la locurile de lucru; Z_{dal}^{tac} = cheltuielile totale actualizate generate de organizarea căilor de alimentare cu energie a punctelor de lucru din cadrul șantierelor inclusiv cheltuielile pentru construirea și întreținerea drumurilor. La determinarea traseelor de alimentare cu energie a punctelor de lucru și a căilor de acces se face apel la algoritmele de stabilire a drumurilor de lungime minimă în graf; Z_{pom}^{tac} = cheltuielile totale actualizate legate de pasul de montaj al obiectivelor energetice astfel ca lucrarea să se realizeze la termenul prevăzut în proiect; Z_{dm}^{tac} = cheltuielile totale actualizate dependente de durata totală de montaj legată atît de drumul maxim din graf (drumul critic) cît și de durata executării operațiilor necritice; Z_{den}^{tac} = cheltuielile totale actualizate generate de defectul entropic al activităților proiectate la un anumit nivel informațional și cu o anumită perturbație, respectiv cu un risc precalculat în condițiile de ordonanțare riguroasă a resurselor pe diverse locuri de lucru; C_{nut}; I_{nut} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru utilajul necesar montajului; C_{dal}; I_{dal} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru traseele minime de alimentare cu energie a locurilor de lucru; C_{pom}; I_{pom} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru realizarea pasului optim de montaj; C_{dm}; I_{dm} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru realizarea montajului pe drum maxim; C_{den}; I_{den} = cheltuielile și respectiv investițiile generate de defectul entropic adică de prelucrarea perturbațiilor care tind să mărească entropia informațională la niveltul întregului șantier; Z_{eor}^{tac} = cheltuielile totale actualizate; Z_{eor}^{tc} = cheltuielile totale anuale de calcul. Restricțiile sînt legate de respectarea termenelor de lucru, respectarea succesiunii lucrărilor, de calitatea și cantitatea activităților ce trebuie realizate într-un anumit interval de timp. Pentru determinarea numărului de utilaje necesar montării unui obiectiv energetic se constuiește funcția de eficiență care prin derivare permite calcularea ritmului optim de servire (μ_{opt}) în următoarea structură:

$$Z_{nut}^{tc} = \frac{c_1}{\mu - 1} - c_2 + p_n I_{nut}; \quad \frac{dZ_{nut}}{d\mu} = 0 \qquad (6\text{-}40)$$

$$\mu_{opt} = \left(\lambda + \sqrt{\frac{c_1}{c_2}}\right); \quad I_{nut} = \text{constant}$$

Dacă $\mu_{opt} > \lambda$ atunci trebuie mărit numărul utilajelor care deservesc pînă cînd $\mu_{opt} \cdot t \leqslant S \cdot \lambda$ respectiv $\mu_{opt} \cdot t \leqslant (1 \ldots 2)\,\mu$. Cînd numărul stațiilor

de deservire trebuie să fie mai mare ca doi atunci rigurozitatea relației hu se respectă și rezultatele obținute sînt afectate de erori.

Determinarea pasului optim de montaj al unor obiective energetice (cazane, turbine, linii, stații) se face rezolvînd o problemă de programare care operează cu o funcție de eficiență de forma:

$$Z^{tc}_{pom} = (C_{lm} + C_{lr} + C_{ip}) \sum_{i=1}^{5} x_i + (2C_{ip} + C_{lm})\, x_3 = \text{minim}$$

în care: C_{lm}; C_{lr}; C_{ip} = costul mecanizării lucrărilor pe durata de montaj (C_{lm}); regia (C_{lr}) proporțională cu durata de execuție și cheltuielile (C_{ip}) invers proporționale cu durata de execuție; t = durata de montaj a obiectivului energetic; x_i = perioadele de timp între începerea montajului unui agregat și terminarea altuia cînd obiectivul energetic are în structura sa mai multe asemenea agregate.

Restricțiile sînt formulate atît pentru montajul nesuccesiv ($x_1 \leqslant t$; $x_2 \leqslant t$) cît și pentru montajul succesiv ($x_1 = x_2 = t$). La acestea se mai adaugă condițiile de folosire reală a macaralelor de montaj formulate pe baza analizei procesului real de montaj la obiective cvasiidentice ce au fost executate în condiții similare. Aceste restricții legate de respectarea duratei totale de montaj sînt specifice fiecărei scheme de organizare a lucrărilor de montaj. Cheltuielile totale legate de realizarea montajului pe drumul critic și cele generate de defectul entropic implică determinarea soluției de ordonanțare a lucrărilor pe locurile de lucru cu ajutorul algoritmului Little. Aplicarea în practică a soluției generează în multe situații defecte entropice care contribuie la creșterea cheltuielilor reclamate de soluția optimă.

În practică, determinarea soluției de montaj a obiectivelor energetice reclamă calcularea următoarelor mărimi:

$$D_{ms} = n_1 N \cdot k + \sum_j t_{asj} \quad \text{montaj succesiv}$$

$$D_{mp} = (N + n_1 - 1)\, k + \sum_j t_{asj} \quad \text{montaj paralel}$$

$$L_p = 1_0 + (2N_{l0} + N_{b1})\, l + 1{,}2\ H$$

$$p_{om} = \frac{\sum_i k_i}{n_1 - 1}; \quad k = \frac{V_m}{C_p}; \quad t_p = \frac{1}{k}; \qquad (6\text{-}42)$$

$$e_{inf} = k_l \left(\sum_k p_k \lg \frac{1}{p_k} + \sum_k q_k \lg \frac{1}{q_k} \right)$$

$$I_{fm} = i_{cz} \Delta n = i_{cz} (n^m_{max} - n^m_{opt})$$

$$I_{ut} = \sum_i (1 + p_n)^{+1}\, \Delta V^{nou}_{utilaj}$$

în care: D_{ms}; D_{mp} = duratele totale de montaj în execuție succesivă (s), respectiv execuție paralelă (p); n_1 = numărul agregatelor în montaj; N = = numărul lanțurilor tehnologice în cadrul unui agregat; k = modul de

ciclicitate al lanțului tehnologic; $t_{aș}$ = timpul de așteptare; L_p = lungimea totală a platformei de montaj; l_0 = lungimea standului de preasamblare; N_{t0}; N_{b1} = numărul de blocuri în schema de organizare a montajului la locul de montaj (N_{b1}) și în firul de așteptare (N_{b0}); l = lungimea spațiului ocupat de un bloc supus montajului; H = înălțimea blocului din faza de montaj; p_{om} = pasul optim de montaj; V_m = volumul de montaj; C_p = capacitatea de producție; t_p = tempoul lanțului tehnologic; e_{inf} = entropia informațională; $k_t = 3{,}32$; p_k; q_k = probabilitățile de succes (p_k) și insucces (q_k); I_{fm}; I_{ut} = investițiile suplimentare datorită repartiției neuniforme a forței de muncă (I_{fm}) și a utilajelor (I_{ut}); i_{cz} = investiția specifică pentru locurile de cazare; Δn = personalul suplimentar care trebuie cazat rezultat ca diferență dintre numărul maxim de lucrători și numărul optim; V_{utilaj}^{nou} = volumul suplimentar de investiții pentru utilajul necesar la vîrful lucrărilor neuniform repartizate în timp.

Algoritmul Little privind ordonanțarea optimă a sarcinilor pe locuri de lucru se poate urmări în literatură [30] [32]. Programarea, alocarea și nivelarea resurselor realizate pentru fiecare situație concretă permite evitarea cheltuielilor și investițiilor suplimentare și înlesnește respectarea termenilor la care lucrările de montaj trebuie predate beneficiarilor. Pe baza studiilor privind alocarea și nivelarea resurselor se poate arăta că cele mai adecvate tehnici în acest domeniu sînt: metodele paralele de montaj, minimizarea sumelor patratelor cantităților de resurse necesare într-o perioadă (t) pe durata (T) a unui proiect, metodele de alocare și nivelare a tuturor genurilor de resurse pentru proiecte complexe.

Cheltuielile generate de aplicarea ingineriei umane și teoriei prognozei resurselor trebuie să cuprindă cheltuieli și investiții privind pregătirea lucrătorilor, organizarea locurilor de lucru și a transportului intern, organizarea normării și retribuției muncii și cheltuieli, respectiv investiții privind programarea, alocarea și nivelarea resurselor la nivelul fiecărui obiectiv intrat în faza de montaj. Funcțiile de eficiență ale modelelor de optimizare a activității de organizare a muncii și de nivelare a resurselor au următoarele forme:

$$Z_{imp}^{tac} = \sum_i (1 + p_n)^{-i} (C_{im} + C_p + I_{im} + I_p) - R_{imp}^{tac}$$

$$Z_{imp}^{tc} = (C_{im} + C_p) + p_n(I_{im} + I_p)$$

în care: C_{im}; I_{im} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru aplicarea în montaj a ingineriei umane; C_p; I_p = cheltuielile și respectiv investițiile pentru prognoza resurselor inclusiv alocarea și nivelarea forței de muncă la nivelul fiecărui obiectiv de montaj. Programarea resurselor umane necesare montajului unui obiectiv energetic trebuie să aibă la bază organigrama posturilor de execuție și a celor de conducere ale șantierului. Posturile din organigramă se justifică pe baza fișelor de descriere a fiecărei funcții, respectiv a sarcinilor fiecărui loc de lucru. Îmbunătățirea structurii organigramei de organi-

zare și conducere a unui șantier se face pe baza indicilor de centralitate (i_c) și periferism (i_p) care se calculează astfel:

$$i_c = \frac{\sum_i \sum_j (x_i, x_j)}{\sum_1 (x_i, x_j)}; \quad i_p = (i_{cc} - i_{ci}) \tag{6-44}$$

În relația (6-44) numărătorul cuprinde sumele distanțelor dintre vîrfurile grafului; iar numitorul cuprinde suma distanțelor vîrfului (i) la celelalte vîrfuri; i_{cc} = indicele de centralitate al vîrfului central în graful atașat organigramei. Pentru calculul acestor indici se constuiește organizarea șantierului și i se atașează un graf cu vîrfuri numerotate. Apoi se realizează matricea legăturilor din graf și se calculează indicii care arată ce poziții de lucru respectiv ce funcții trebuie amplificate sau reduse în ideea concentrării activității în jurul punctului central din graf. Vîrful cu cel mai mare indice de centralitate este punctul în jurul căruia se concentrează activitatea de montaj, iar vîrful cu cel mai mare indice de periferism se analizează în vederea preluării activității spre punctele centrale. Matricea atașată grafului permite calcularea atît a centralității vîrfurilor cît și a puterii fiecărui vîrf. Puterile vîrfurilor sînt de diferite ordine și anume: puterea de ordinul unu se calculează adunînd coeficienții fiecărei linii, puterea de ordinul 2 și 3 se calculează, pe baza exemplului din literatură [13] numai dacă după prima iterație unele vîrfuri au aceeași putere. La calculul indicilor de centralitate și periferism și a puterilor de iterație legăturile dintre vîrfuri trebuie să aibă același conținut informațional. Cu ajutorul acestor elemente se pot face gradări în privința legăturilor existente și a celor nou create la nivelul grafului atașat unei organigrame.

Prognoza resurselor trebuie realizată atît sub forma de programare cît și sub forma de alocare și nivelare. Programarea trebuie să reflecte situația resurselor din sinteza de preplanificare a acestora. Alocarea și nivelarea resurselor (financiare, umane, utilaje, materiale, spații disponibile etc.), urmăresc evitarea penuriei și utilizarea rațională a întregului potențial. Nivelarea resurselor de exemplu constă în găsirea unui program de lucru cu o durată corespunzătoare drumului critic astfel ca profilul realizat să fie optim din punct de vedere al uniformității nivelului resursei. Printre metodele de programare, alocare și nivelare a resurselor reținatenția: metodele euristice, metoda Kelley, metoda SPAR și metoda RAMPS. Metodele euristice, se pot aplica cu ajutorul a două criterii și anume: criteriul Pascal și criteriul Burgess-Killebrew. Procesul de alocare a resurselor presupune o ordonare a activităților care trebuie să respecte cel puțin succesiunea tehnologică a operațiilor de pe drumul critic. Operațiile la nivelul graficului Gantt în vederea ordonării activităților sînt: amînare prin deplasarea operațiilor spre dreapta, începerea mai devreme prin deplasarea operațiilor spre stînga, întrerupere prin segmentarea activităților, urgentare prin scurtarea și încetinirea prin lungimea duratelor. Deplasarea spre dreapta se face numai în limita rezervei de timp sau chiar prin depășirea rezervei, iar deplasarea spre stînga este posibilă numai dacă s-au urgentat unele activități precedente. Segmentarea

se face numai dacă operațiile rezultate se pot înfăptui prin procedee elementare fără a se stînjeni întreaga activitate. Urgentarea se face prin alocarea unor noi resurse, iar încetinirea se realizează prin reducerea resurselor sub nivelul proiectului. Alocarea se realizează prin două procedee și anume: procedeul serie și procedeul paralel. În primul caz alocarea se realizează pe baza analizei procesului și a fiecărei operații luate una cîte una. În cazul al doilea alocarea se face în paralel odată cu examinarea tuturor activităților amplasate într-un interval de timp. Cînd nu există resurse disponibile suficiente atunci alocarea se face pe baza unor reguli de prioritate ținînd seama de urgența fiecărei operații, respectiv de marjele de timp și de duratele fixate pentru începerea și terminarea activităților. Pe baza criteriului Pascal se poate arătă că metodele paralele de alocare sînt mai eficiente ca cele seriale iar criteriul cel mai bun de prioritate este minimizarea timpului total de realizare a lucrărilor de montaj pe drumul critic. Criteriul Burgess-Killebrew arată că cel mai eficient profil se realizează prin minimizarea cantității patrate de resurse $\left(\sum_i r_i^2 = \text{minim}\right)$ prin parcurgerea următoarelor etape de lucru:

— Se calculează programul minorant și se întocmește graficul Gantt. În acest grafic activitățile se înșiră în ordinea crescătoare a nodurilor finale, dacă mai multe activități au același (j) atunci ele se aranjează în ordinea crescătoare a lui (i). După întocmirea graficului se aplică criteriul Burgess-Killebrew pentru nivelarea unei singure resurse luînd activitățile pe rînd începînd cu ultima.

— Se plasează spre dreapta cu o zi operațiile începînd cu cea de la sfîrșitul listei și se calculează valoarea criteriului $\left(\sum_i r_i^2 = \text{minim}\right)$. Se alege soluția care are activitățile situate cel mai spre dreapta față de alte variante cu aceeași valoare a criteriului $\left(\sum_i r_i^2 = \text{minim}\right)$ dar cu poziții ale activităților mai spre stînga.

— După terminarea primului ciclu de deplasări și calcule se schimbă ordinea activităților și se reia calculația. Iterațiile se opresc cînd valoarea criteriului Burgess-Killebrew rămîne constantă adică nu mai scade sub anumită limită rezultată din calcul. Pe baza acestor reguli se obține o soluție de nivelare a resurselor foarte apropiate de varianta optimă. Aplicarea criteriului Burgess-Killebrew la nivelarea mai multor resurse se face după regulile prezentate anterior începînd cu cea mai importantă resursă.

Algoritmul Kelley pentru programarea și alocarea serială a resurselor are următorul conținut:

— Se întocmește lista activităților în ordinea crescătoare a lui (j), iar în caz de egalitate în ordinea crescătoare a lui (i).

— Se programează fiecare activitate, începînd cu operația din capul listei, la cel mai devreme termen posibil așa fel ca să nu depășim disponibilul.

— Termenul înaintat la care se poate programa o activitate coincide cu termenul minim de începere al activității dacă aceasta nu a fost deplasată spre dreapta din cauza indisponibilității resurselor. Dacă această programare nu se poate realiza, atunci activitatea se amînă cu o zi.

— Activitățile critice au prioritate la programarea și alocarea resurselor.

— Unele activități se pot întrerupe iar programele inițiale de alocare se pot ajusta prin mărirea disponibilului pe unele intervale sau prin varierea duratei unor activități.

Algoritmul SPAR conceput de T. D. Wiest are la bază metoda paralelă de alocare a resurselor și regula de prioritate a operațiilor cu rezerva totală minimă de timp. Se pleacă de la prima operație din lista activităților înșirate în ordinea crescătoare a termenelor minime de începere. Dacă o activitate nu poate fi programată din cauza indisponibilității resurselor, ea se amînă cu o zi. Dacă prin amînare operația devine critică, atunci ea capătă prioritate la alocarea resurselor. Acest algoritm se referă la alocarea muncitorilor pentru executarea diverselor tipuri de lucrări și face apel la mărimea echipei și intensitățile cu care lucrează (accelerat, normal și încetinit). Pentru operații critice echipa folosește intensități accelerate de lucru. Dacă pe această cale nu se realizează programul din lipsă de muncitori, atunci se preiau muncitorii de la alte activități. Dacă operația nu se poate programa, atunci ea se amînă cu o zi. Activitățile necritice se programează la intensități normale. Urgentarea activităților critice se face prin alocarea de noi resurse. Dacă o activitate reclamă mai multe tipuri de resurse, atunci se creează activități separate pentru fiecare resursă. Activitățile create trebuie să înceapă simultan și să fie programate la același nivel de intensitate. Metoda SPAR permite amînarea lucrărilor în curs de execuție pentru a se aloca resursele activității critice dacă nu se depășește durata inițială a proiectului. După ce toate activitățile au fost programate, resursele nefolosite se alocă pentru urgentarea unor activități. În prezent algoritmul SPAR se poate folosi la optimizarea programării resurselor cu ajutorul unui program de calculator care permite determinarea soluției optime prin minimizarea costului total al proiectului.

Algoritmul RAMPS se aplică pentru alocarea resurselor la programe de lucru care se execută simultan ținînd seama de următoarele criterii: termenii de predare a lucrării, costul proiectelor luate separat, disponibilitatea resurselor, calitatea lucrărilor și utilizarea optimă a resurselor totale. Algoritmul RAMPS urmărește optimizarea programului de lucru pe baza unui parametru sintetic timp-cost-resurse. Restricțiile modelului sînt: de succesiune a activităților, cele temporale legate de respectarea termenelor proiectelor și restricții cumulative privind programarea, alocarea și nivelarea resurselor. Algoritmul RAMPS operează cu două clase de informații și anume: clasa informațiilor de intrare și clasa informațiilor de ieșire. În prima clasă apar informațiile pentru realizarea grafului obiectivului ca timp și ca resurse la care se adaugă costurile normale pentru resurse și cele de excepție (penalizări) pentru întîrzierea proiectului. În cea de-a doua clasă se sintetizează informațiile privind eșalonarea activităților și a resurselor atît la nivelul fiecărui proiect, cît și la nivelul întregului program complex.

Algoritmul permite satisfacerea următoarelor obiective: minimizarea duratei totale a proiectului complex, acordarea de priorități activităților critice, asigurarea unui consum uniform de resurse, maximizarea numărului de activități simultan în execuție și optimizarea întregului program de lucru cu ajutorul calculatorului electronic. Analiza programului unui multiproiect se referă la: construirea grafelor și a drumului critic pentru fiecare proiect, stabilirea activităților în curs de execuție, calcularea necesităților fiecărei

activități, programarea, alocarea și nivelarea resurselor și stabilirea soluției optime pe baza unui criteriu complex timp-cost-resurse. Optimizarea activității de montaj se realizează atît în privința timpului de construire a obiectivului cît și în privința utilizării eficiente a resurselor umane. Acțiunea de optimizare a activității legată de aplicarea în practică a ingineriei umane și a prognozei trebuie precedată de organizarea locurilor și a fronturilor de lucru, de normarea tuturor activităților, de reglementarea rațională a aprovizionării cu resurse a șantierelor, de organizare și pregătirea lucrătorilor. Minimizarea cheltuielilor totale actualizate, respectiv a cheltuielilor anuale de calcul în condiții de restricții impuse de corelația sistemului cu mediu conduce la soluția optimă de organizare a montajului obiectivelor energetice.

Cheltuielile cu ingineria și analiza valorii sînt generate de proiectarea și reproiectarea instalațiilor atît la nivelul obiectivului energetic supus montajului cît și la nivelul utilajului necesar șantierului de montaj la care se adaugă cheltuielile legate de organizarea șantierelor. Funcția de eficiență a modelelor de optimizare a costurilor are următoarea formă generală:

$$Z_{iav}^{tac} = \sum_{i} (1 + p_n)^{-i} (I_{ij} + C_{ij})_i - R_{iav}^{tac}$$
$$Z_{iav}^{tc} = (C_{ij} + p_n I_{ij}) \qquad (6\text{-}45)$$

în care: C_{ij}; I_{ij} = cheltuielile și respectiv investițiile pentru proiectarea și reproiectarea instalațiilor din faza de montaj, R_{iav} = valoarea remanentă a utilajelor după dezafectare; p_n = coeficient de eficiență economică. Aceste elemente de costuri se determină prin diverse metode specifice teoriei grafelor dintre care menționăm: metoda (CPM; PERT-COST); metoda Meyer-Shaffer, metoda Berman; metoda Orkand-Moder-Philips și metoda cercetării operaționale. Costurile operațiilor se pot reduce prin organizarea judicioasă a lucrului în timp și prin utilizarea rațională a resurselor. Dacă se urmărește scurtarea duratei de execuție a unui obiectiv atunci prin alocarea de resurse din punct de vedere calitativ și cantitativ și prin aplicarea procedeului de accelerare a intensității de execuție se poate obține un cost al operațiilor în limite aprobate inițial cu variații prestabilite. Rezolvarea acestei probleme presupune atît cunoașterea funcțiilor $C_{ij} = f(t_{ij})$ care exprimă legăturile dintre costuri și duratele de execuție a operațiilor cît și trasarea curbei de variație a cheltuielilor totale în vederea stabilirii punctului de optim. Structura funcțiilor $C_{ij} = f(t_{ij})$ poate fi discretă sau continuă (liniară, pătratică, concavă, convexă) și are forma:

$$C_{ij}(t_{ij}) = a_{ij} + b_{ij} \cdot t_{ij}; \quad C_{ij}(t_{ij}) = a_{ij} - c_{ij} \cdot t_{ij}$$
$$a_{ij} = \frac{p_{ij} D_{ij} - q_{ij} d_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}}; \quad b_{ij} = \frac{p_{ij} - q_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} \quad c_{ij} = \frac{p_{ij} - q_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} \qquad (6\text{-}46)$$
$$C_{ij}(t_{ij}) = \frac{p_{ij} D_{ij} - q_{ij} d_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} - \frac{p_{ij} - q_{ij}}{D_{ij} - d_{ij}} t_{ij}$$

în care: c_{ij} = cost marginal sau costul unitar al urgentării; D_{ij} = durata maximă sau limita superioară a duratei (t_{ij}); d_{ij} = durata minimă sau limita

inferioară a duratei (t_{ij}); p_{ij}; q_{ij} = reprezintă costurile pentru limita maximă (p_{ij}) și pentru limita minimă (q_{ij}) a duratei (t_{ij}).

Metoda (CPM-PERT-COST) permite optimizarea costurilor de montaj pe baza următoarelor modele ale programării liniare:

a) Modelul primal

$$Z^{to}_{iav} = \sum_{(i,\,j)\in U} (a_{ij} - c_{ij}t_{ij}) + p_n I_{ij} = \text{minim}$$

$$t_i + t_{ij} - t_j \leqslant 0; \quad t_{ij} \leqslant D_{ij} - t_{ij} \leqslant d_{ij} \qquad (6\text{-}47)$$

$$t_n - t_1 \leqslant \lambda = \text{durata proiectului}$$

b) Modelul dual

$$Z^{to}_{iav} = \sum_{(i,\,j)\in U} (c_{ij}t_{ij} - p_n I_{ij}) = \text{maxim}$$

$$t_i + t_{ij} - t_j \leqslant 0; \quad t_{ij} \leqslant D_{ij}; \quad -t_{ij} \leqslant -d_{ij}; \quad t_n \leqslant \lambda$$

Aducînd aceste funcții în forma lor de optimizare prin separarea variabilelor se poate obține soluția cea mai eficientă de realizare a montajului prin rezolvarea modelelor cu ajutorul algoritmului Ford-Fulkerson, respectiv cu algoritmul J.E. Kelley. Aplicarea unuia din cele două algoritme la rezolvarea problemei presupune respectarea următoarelor instrucțiuni de calcul: se pornește cu duratele maxime pentru operațiile din graf ($t_{ij} - D_{ij}$) și se încearcă scurtarea duratei (λ) a proiectului prin urgentarea activităților critice care au costul marginal (c_{ij}) cel mai mic. Procedura continuă pînă cînd toate activitățile critice au duratele ($t_{ij} = d_{ij}$). Programul de optimizare a montajului în vederea realizării costului minim se poate efectua la un calculator electronic off line atît pe baza modelelor liniare de cost cît și pe baza modelelor neliniare aplicabile unor puncte complexe. Aplicarea metodei PERT-COST la optimizarea programului de montaj a unui obiectiv prezintă dificultăți deoarece evidența contabilă operează cu acumularea costurilor după criteriul funcțional dar programul reclamă cunoașterea acestor costuri pe operații, faze și părți din proiect. Acest mod nou de restructurare a costurilor pus la dispoziție de cercetarea operațională permite o delimitare precisă a responsabilităților și un control riguros prin leu a evoluției proiectului. Programul PERT-COST se aplică în practică pe baza respectării următoarelor faze de lucru: stabilirea programului temporal prin elaborarea duratelor fiecărei operații inclusiv a duratei drumului critic, determinarea rezervelor, calcularea termenelor evenimentelor cheie și elaborarea graficului Gantt; structurarea pe nivele ierarhice de organizare și conducere a întregului proiect, determinarea costurilor după alocarea și nivelarea resurselor atît la nivelul operațiilor cît și la nivelul întregului proiect. Programul PERT-COST are la bază următoarele rapoarte: descrierea activităților, întocmirea diagramei Gantt, stabilirea termenilor minime și maxime ale tuturor evenimentelor din program și determinarea evoluției proiectului din punct de vedere al termenilor și al costului, evidențierea realizărilor în raport cu datele planificate, respectiv semnalarea întîrzierilor în executarea operațiilor față de grafic. La aceste rapoarte se mai adaugă raportul financiar și cel asupra resurselor care cuprind atît situația

comparativă a costurilor estimate față de cele reale cît și estimări privind necesarul de resurse.

Algoritmul PERT-COST permite depistarea cauzelor depășirilor în vederea preîntîmpinării, respectiv a evitării lor și înlesnește evaluarea corectă a costurilor constituind o bază reală de prevedere a sumelor necesare realizării programelor de montaj a obiectivelor complexe pe bază de multiproiect.

Metoda Meyer-Shaffe permite modelarea și optimizarea programelor la care costurile se reprezintă prin curbe concave. Modelul matematic are următoarea structură:

$$Z_{iav}^{tc} = \sum_{(i,\,j)\in U} (c_1 t_{1ij} + c_2 t_{2ij} + p_n I_{ij}) = \text{minim}$$

$$t_i + d_{ij} + t_{1ij} + t_{2ij} - t_j \leqslant 0 \qquad (6\text{-}48)$$

$$0 \leqslant t_{1ij} \leqslant (b - d); \quad 0 \leqslant t_{2j} \leqslant (D - b)$$

$$\delta(b - d) \leqslant t_{1ij}; \quad \delta(D - b) \leqslant t_{2ij}$$

în care:

c_1; c_2 = costuri marginale ale urgentării egale cu valorile absolute ale pantelor dreptelor ce aproximează două curbe ce descriu variația cheltuielilor. δ = un număr cuprins între zero și unu; d și b reprezintă limitele inferioare (b) și superioare (d) pentru (c_1); t_{1ij} și t_{2ij} — duratele evenimentelor; D; b = limite pentru (c_2).

Metoda Berman are la bază modele de optimizare de forma:

$$Z_{iav}^{tc} = \left(a_{ij} + b_{ij} t_{ij} + \frac{c_{ij}}{t_{ij} - d_{ij}} + p_n I_{ij}\right) = \text{minim}$$

$$t_{ij} \leqslant \left(\frac{c_{ij}}{b_{ij}}\right)^{1/2} + d_{ij} \qquad (6\text{-}49)$$

$$Z_{iav}^{tc} = C_{ij}\left[\left(\frac{c_{ij}}{b_{ij}}\right)^{1/2} + d_{ij}\right] + p_n I_{ij} = \text{minim}$$

$$t_{ij} \geqslant \left(\frac{c_{ij}}{b_{ij}}\right)^{1/2} + d_{ij}; \quad d_{ij} \leqslant t_{ij} \leqslant D_{ij}$$

în care:

a_{ij} = costurile materialelor independente de durata activităților; b_{ij} = costurile dependente de durata (t_{ij}) care reprezintă valoarea imobilizării fondurilor; C_{ij} = cheltuielile cu manopera care sînt invers proporționale cu duratele (t_{ij}). Relația durată-cost se poate analiza în vederea ieftinirii proiectului atît la nivelul succesiunii seriale (la nivelul fiecărui nod sosește o activitate și pleacă una singură) cît și la nivelul succesiunii complexe (fiecărui nod îi aparțin mai multe activități imergente și emergente). În primul caz reducerea costului se obține prin alocarea duratei maxime a activităților care posedă o parte mai mare în curba cost-durată. În cel de-al doilea caz alocarea optimă a timpului la activitățile ce aparțin unui nod corespunde egalității din-

tre suma pantelor activităților emergente și a pantelor activităților imergente. Metoda Orkand-Moder-Philips (O-M-Ph) operează cu relații discrete pentru funcții cost-durată. Modul de aplicare al algoritmului (O-M-Ph) se poate urmări în literatură [31] [36]. Algoritmul cercetării operaționale pentru determinarea costurilor de montaj ale obiectivelor energetice se dă în literatură [12], [13] [20] [23].

Economiile ce se obțin prin aplicarea cercetării operaționale la optimizarea organizării lucrărilor de montaj se calculează cu relații de forma:

$$E_{fr} = V \cdot r_m \left(\frac{1}{p_s} - \frac{1}{p} \right); \quad E_{cind} = 0{,}0375 V \left(1 - \frac{p_s}{p} \right)$$

$$E_{cmec} = \left(1 - \frac{p_s}{p} \right) \cdot c_m; \quad E_{exp} = \left(1 - \frac{p_s}{p} \right) \cdot c_e \qquad (6\text{-}50)$$

$$E_{dt} = e_i \cdot t_r^s \left(1 - \frac{p_s}{p} \right); \quad E_{mri} = p_n (I_n t_n - I_r t_r)$$

în care: E_{fr} = economia realizată la fondul de retribuție; V = volumul de montaj; r_m = retribuția medie; p_s = productivitatea muncii la montajul succesiv; p = productivitatea muncii la montajul în flux continuu; E_{cind} = =economiile la cheltuielile indirecte; E_{cmec} =economiile la cheltuielile cu mecanizarea lucrărilor de montaj; c_m = costul mecanizării lucrărilor la montajul succesiv; E_{exp} =economiile rezultate prin exploatarea rațională a instalațiilor de montaj; c_e = cheltuielile de exploatare a acestor instalații; E_{dt} = economiile rezultate din punerea în funcțiune înainte de termen a obiectivelor montate; e_i = economia specifică pe unitatea de timp; t_r^s = durata de montaj succesiv a obiectivelor; E_{mri} =economia rezultată din mărirea ritmului investițiilor; p_n = coeficient de eficiență economică; I_n; I_r = investițiile planificate (I_n) și cele realizate (I_r); t_n; t_r = termenul planificat (t_n) și cel realizat (t_r) pentru montajul obiectivului analizat.

6.3. Cibernetica montajului instalațiilor energetice

Cibernetizarea realizării proiectelor de montaj se înfăptuiește cu ajutorul următoarelor programe de calculator: Programul PERT-COST și ROC 8001; Programul CONCORD; Programul IBM 1130/360 PCS și P.P.S.; Programul GRASP; programele TANGO; CORINA; EMIR; PERT-CORAIL-2"; PERT-RES, etc.

Programul de calculator conține o serie de instrucțiuni și subrutine pentru efectuarea calculelor legate de duratele evenimentelor dintr-un graf atît pe parcursul direct cît și pe parcursul invers, la care se adaugă calculul rezervelor respectiv a marjelor de timp, calculul resurselor materiale și umane la nivelul programării, alocării și nivelării lor, determinarea costurilor și stabilirea variantei optime în funcție de un anumit criteriu de decizie. Fiecare program de calculator denumit software are anumite caracteristici și este conceput pentru un anumit gen de aplicații. Pentru a se putea cunoaște conținutul

unor programe de calculator în vederea utilizării lor la cibernetizarea elaborării proiectelor de montaj se vor prezenta în continuare principalele caracteristici ale unor softuri cu largi aplicații în montaj.

Programul PERT-COST-7090 CP-OIX permite optimizarea costului cu ajutorul unui calculator I.M.B 7090/94 care scoate în evidență controlul lunar al costurilor și modul de folosire a resurselor. Capacitatea programului cuprinde 100 subrețele cu 750 activități fiecare; 100 de resurse cîte patru resurse simultan pe o activitate, durata proiectului, zece ani maximum. Programul operează cu șapte nivele de conducere și pune la dispoziția decidenților 24 rapoarte cu date de ieșire.

Programul ROC-8001 permite conducerea eficientă a proiectelor cu resurse limitate. Numărul activităților nu depășește 8000 pentru subprogramul PERT/TIME și este sub 16000 de activități pentru subprogramul PERT/RESURSE. Programul acceptă maximum 99 de resurse pentru întregul proiect și operează cu șase resurse pe fiecare activitate.

Programul CONCORD urmărește concepția și realizarea planului de ordonanțare a lucrărilor pe locurile de lucru din cadrul unui șantier de montaj. El operează cu maximum 8000 de activități și necesită o durată de lucru de circa opt minute pentru o rețea cu 2300 de activități și 3200 de arce.

Setul de programe IBM-1130/360 PCS și PPS urmărește planificarea, evaluarea, programarea și controlul a trei parametrii și anume: timp, resurse, cost. Capacitatea variază între 2000 și 5000 de activități în funcție de tipul calculatorului utilizat. Capacitatea minimă se referă la calculatoare IBM-1130 iar cea maximă la calculatoare IBM-360. Principalele caracteristici ale acestor programe de aplicații sînt următoarele: calcularea termenului minim și maxim de începere și de finalizare cel mai devreme și cel mai tîrziu a operațiilor; stabilirea profilului și cantitatea resurselor, evidențierea costurilor totale și pe operații, respectarea restricțiilor de suprapunere și decalări de operații, respectarea termenelor prestabilite.

Programul GRASP permite programarea și alocarea optimă a resurselor folosindu-se regula de prioritate Pascal ($\min t_{ij}$). Caracteristicile de bază ale programului: durata proiectului maximum cinci ani, numărul de activități 5000 și 50 de resurse diferite, se lucrează cu cinci resurse pe activitate.

Setul de programe ANGRA cuprinde trei aplicații denumite TANGO; CORINA și EMIR. Programul TANGO transformă în arce activitatea nodurilor unui graf rețea pentru investiții și înlesnește ordonarea pe nivele a resurselor existente. Programul CORINA corelează indicatorii pe activități în cadrul programului TANGO pe baza metodei PERT. Programul EMIR estimează repartizarea nivelată a resurselor pe fiecare activitate, plecîndu-se de la soluția dată de programul CORINA.

Programul PERT-CORAIL—2 utilizează grafuri rețea cu activitate pe noduri și permite determinarea atît a duratei maxime și minime pentru activitate cît și nivelarea resurselor. Programul necesită o memorie internă de 128 K pentru aplicații curente.

Programul PERT-RES utilizează grafuri cu activități pe arce. Rezolvă probleme de drum critic pentru lucrări cu maximum 3000 de activități și 50 de resurse diferite, cîte opt resurse pe fiecare activitate solicitînd o memorie internă de 64 K.

7. INGINERIA ORGANIZĂRII SISTEMELOR DE ENERGIE ÎN TEORIA EXPLOATĂRII OPTIMALE A INSTALAȚIILOR ENERGETICE

7.1. Organizarea exploatării optimale a resurselor energetice

Organizarea sistemelor de energie în teoria exploatării optimale se face pe de o parte cu scopul conservării și valorificării eficiente a resurselor și a îmbunătățirii pe de altă parte a structurilor funcționale ale lanțurilor energetice (surse — centrale — stații — linii — consumatori). Rezolvarea acestor probleme cu ajutorul algoritmelor de optimizare a organizării producției completează șirul stărilor optimale prin care trece orice obiectiv energetic de la proiectare-montaj la exploatare-dezafectare. În această idee se poate transforma organizarea sistemelor de energie dintr-o problemă operațională într-o problemă de concepție bazată pe strategia de ingineering care pleacă de la concepția sistemică de abordare a fenomenelor energetice și preconizează optimizarea prin modele și programe a întregii activități cercetare-proiectare; construcții-montaj și exploatare-dezvoltare. Aplicarea acestor idei la organizarea optimală a exploatării sistemelor de energie reclamă abordarea problemelor cu ajutorul cercetării operaționale cu scopul stabilirii căilor raționale de conservare și de economisire a energiei în condiții de creștere a efectului energetic util la nivelul fiecărui consumator.

Teoriile matematice ale cercetării operaționale care pun bazele organizării exploatării sistemelor de energie sînt: stocarea-așteptarea; echipamente-ordonanțare; inginerie umană; cost-tarif-decizie. Problemele sistemelor de energie care se pot rezolva cu aceste teorii și modele de organizare sînt: aprovizionarea cu resurse și desfacerea produselor; repararea echipamentelor, preluarea avariilor și repartiția economică a sarcinilor; organizarea locurilor de lucru, calificarea lucrătorilor, normarea activităților și extinderea dialogului om-calculator; determinarea eficienței activității prin reducerea costurilor, prin aplicarea unei politici tarifare raționale și prin îmbunătățirea deciziilor în noile condiții de producție.

Aplicarea teoriei stocării și așteptării la gestiunea resurselor urmărește optimizarea aprovizionării cu combustibil și piese de schimb în cantități suficiente și la calitate corespunzătoare a tuturor unităților din sistem. Necesarul de aprovizionat se determină în funcție de numărul produselor, consumul specific de materiale și energie și în funcție de pierderile care apar atît în cadrul

procesului tehnologic cît și în procesul de organizare a activității (încărcare, descărcare, depozitare). Pe baza acestor calcule se determină elementele din structura comenzii (lotului) optime care formează fluxul de resurse pentru stocurile curente și cele de siguranță. Comanda optimă rezultă din condiția de extrem aplicată cheltuielilor totale cu gestiunea resurselor la nivelul sistemului examinat. Comanda optimă se determină în funcție de caracterul cererii de resurse și se calculează pentru unul sau mai multe produse și pentru toate fazele prin care trece obiectivul analizat. La nivelul exploatării obiectivelor energetice (unde cererea este o variabilă continuă) prin gestiunea resurselor se urmărește realizarea concordanței dintre cerințele producției și nivelul stocurilor momentan și de perspectivă. În astfel de situații stocurile de resurse îndeplinesc atît o funcție de regularizare a cererii cu rezerva de combustibil cît și o funcție de prevedere a unor riscuri în aprovizionare, transport și depozitare de resurse. Aceste funcții înlesnesc diminuarea stocurilor supranormative, micșorarea costurilor de stocaj și penurie și creează condiții de economisire a resurselor materiale și combustibile. Construirea strategiei de gestionare optimă a resurselor trebuie să înceapă din faza de proiectare a obiectivelor energetice, să continue în faza de montaj și să fie riguros controlată și corectată în faza de exploatare a instalațiilor energetice. Pentru fiecare fază (proiectare-montaj-exploatare) se prevede necesarul de materiale și combustibil atît pentru perioada de plan cît și pentru perioada de prognoză.

La elaborarea prognozei necesarului de resurse pentru sistemele energetice se ține seama de caracterul cererii, de posibilitățile reducerii consumurilor specifice și proprii tehnologice de combustibil și energie, de influența stărilor naturii asupra nivelului solicitat de resurse și de condiții organizatorice de încărcare, transport, descărcare și depozitare a resurselor solicitate. Gestiunea resurselor la nivelul sistemelor de energie pe baza concepției unitare de legătură a părților de întregul sistem trebuie realizată rațional atît la nivelul ramurii energiei electrice și termice cît și la nivelul întreprinderii producătoare de energie, al întreprinderilor de transport-distribuție, al întreprinderilor consumatoare de energie și al întreprinderilor speciale (cercetare, proiectare, montaj, reparații etc.) inclusiv a întreprinderilor care produc energia primară. Stocarea energiei primare, a celei intermediare sau a energiei finale la nivelul întregului sistem constă în formarea rezervelor de cărbuni, de gaze, de petrol, de uraniu, de energie hidraulică, de hidrogen, de căldură sub forma apei calde la sursele de producere sau la consumator și de energie transformată (electrică, mecanică, de sinteză chimică, biomasică, biogaz, etc.) și prezintă o importanță deosebită din punct de vedere tehnic și economic în situații energetice de conjunctură ca cea generată de criza energiei în deceniul al optulea al acestui secol. Rolul stocurilor de resurse în lanțurile de transformare a energiei a căpătat noi dimensiuni odată cu mărirea fluctuațiilor în aprovizionarea sistemelor energetice cu combustibil convențional, precum și a implicațiilor majorate de riscurile de întreruperea alimentării cu resurse a consumatorilor simultan cu antrenarea unor noi resurse de energie cu caracter aleator, cum sînt cele heliotermice, eoliene, geotermice, mariomotrice etc. Dintre tipurile de rezerve, competitive comercial sînt stocurile de combustibil solid, lichid și gazos, formate din surse clasice (cărbuni, petrol, gaze naturale) sau surse noi (uraniu, hidrogen, metanol, biogaz etc.), la care se adaugă acu-

mulările de apă, stocurile de aer comprimat și cele de căldură cu nivel coborît de temperatură. Celelalte forme de stocare sînt în faza tehnică de dezvoltare și trebuie studiate mai ales sub aspect tehnico-economic. Alegerea corespunzătoare a mărimii stocurilor la nivelul sistemului de energie în concepție integratoare (sursă-consumator) ridică probleme mai complexe teoretic și practic sub aspect tehnico-economic decît gestiunea stocurilor din cadrul altor sisteme industriale.

Dimensionarea stocurilor de resurse la nivelul ramurii energiei electrice și termice trebuie făcută în concepție sistemică prin luarea în considerație a tuturor factorilor care influențează nivelul și mișcarea resurselor între furnizori și consumatori. Nivelul stocului de resurse este influențat în principal de structura și întinderea rețelei de consumatori, de fluctuația cererii și mărimea penalizărilor cînd nu se asigură energia cerută la consumator, de posibilitatea de variație a potențialului surselor de energie; de substituire reciprocă inclusiv de dinamica surselor de energie și de disponibilitatea și economicitatea lor. Efectele stocurilor de resurse în funcție de dimensiunea depozitelor sînt următoarele: folosirea judicioasă a surselor de combustibil, compensarea rapidă a creșterii cererilor inițiale, majorarea fiabilității instalațiilor prin substituirea rapidă a resurselor, protecția mediului și îmbunătățirea randamentului bilanțului energetic general. Un stoc de resurse compensează variațiile de debit ale sursei și are influență asupra lanțului ce leagă sursa de consumator. Acest lanț energetic se proiectează pentru debitul maxim al sursei din amonte de stoc și pentru debitul maxim al consumatorului în aval de stoc. Stocul se plasează lîngă furnizor în cazul surselor de energie fluctuantă (energia hidraulică, biogazul, biomasa etc.) și cît mai aproape de consumator în cazul energiilor finale, în special în cazul fluidelor calde cu scopul eliminării supradimensionărilor cînd cererile de energie ale consumatorilor sînt intermitente și prezintă variații însemnate. Așezarea depozitelor de resurse depinde de configurația fluxurilor de energie. Astfel în unele țări, cum ar fi Franța, fluxul de gaze importate venind din exterior era convenabil ca depozitele să fie plasate în centrul țării, iar pentru țara noastră cu sursele plasate în centrul țării, depozitele de gaze spre exemplu, ar trebui construite în exteriorul munților Carpați.

Stocarea energiei în condiții raționale reclamă crearea unor instalații eficiente pentru stocarea diferiților purtători de energie și optimizarea nivelurilor resurselor depozitate, ținînd seama de nivelul fiabilității consumatorilor și de daunele rezultate din cauza neasigurării cu resurse a cererilor de energie la vîrful de consum. Dimensionarea stocurilor de resurse energetice implică investiții pentru depozite, dar rezolvă înlocuirea unor capacități suplimentare la vîrful sistemului. Întrucît problema stocării rezervelor de resurse este extrem de complexă, la nivelul întregului sistem de energie se vor face considerații privind stocarea subterană a combustibililor gazoși și lichizi, stocarea căldurii în centralele termoelectrice și în sistemele de termoficare, stocarea energiei hidraulice, stocarea aerului comprimat, stocarea energiei cinetice prin volanți: stocarea hidrogenului și stocarea energiei electrice prin intermediul acumulatoarelor și a pilelor de combustibil. Stocarea subterană a combustibilului lichid și a celui gazos se poate realiza în condiții eficiente dacă se respectă următoarele deziderate: [41] realizarea unor condiții etanșe în subteran

în locuri cu formațiuni geologice solide. Etanșeitatea combustibilului se poate realiza în două feluri: fie prin plasarea rezervelor în cavități saline, fie prin stocarea carburanților în interiorul unui strat de apă care formează mediu etanș; utilizarea cavităților zăcămintelor epuizate de hidrocarburi sau a unor goluri naturale în subteran la care pereții au fost acoperiți cu un strat impermeabil; construirea unor depozite speciale prevăzute cu dispozitive de acces și siguranță controlate suprateran. Stocarea subterană de mare adîncime nu este poluată, este la adăpostul pericolului de incendiu și nu ocupă decît suprafețe mici supraterane pentru instalații de control tehnic a presiunii, temperaturii și a nivelului din bazin. Stocul subteran este mai sigur decît cel din zăcămînt pe motiv că pierderile în depozitul artificial sînt mult mai mici, iar rezerva poate fi oricînd controlată. Practic toate formele de combustibil lichid și gazos pot fi stocate cînd se respectă condițiile de etanșeitate și stabilitate. Domeniul temperaturilor la care se pot stoca resursele combustibile variază de la nivele coborîte la gaze lichefiate pînă la (80 ... 100°C) la combustibili grei preîncălziți. În prezent la nivelul sistemelor energetice locale există realizări în privința stocării tuturor formelor de energie inclusiv aerul comprimat și hidrogenul, care formează extreme ale gamei de resurse stocabile.

Stocarea subterană a purtătorilor de energie (petrol, gaze, hidrogen, etc.) implică pierderi la exploatarea depozitului, mai mari la extragerea hidrocarburilor și gazelor și foarte mici la eliberarea hidrogenului din structura hidrurilor metalice. După datele publicate costul amenajării și cel al pierderilor de hidrocarburi stocate în cazul utilizării exclusive a depozitului a condus la o creștere a prețului barilului de petrol de la simplu la dublu. Aceste creșteri ale costurilor sînt cauzate de manipularea debitelor de apă care protejează stratul de petrol subteran și de întreținerea în funcțiune a instalațiilor de control a parametrilor întregului ansamblu proiectat (resursă plus depozit).

Stocarea hidrogenului se poate face în mai multe feluri dintre care s-au realizat următoarele: stocajul în cîmpuri subterane, criogenie, cu ajutorul hidrurilor metalice și prin intermediul buteliilor sub presiune. Stocarea hidrogenului în cîmpuri subterane cu structuri geologice adecvate s-a realizat pentru capacități de circa un miliard metri cubi combustibil gazos sub presiune la prețuri relativ scăzute. Hidrogenul lichid se poate stoca, pînă în prezent în rezervoare criogene de ordinul milioanelor de metri cubi la temperaturi de —253°C. Astfel la Cap Canaveral în SUA s-a realizat un rezervor subteran de hidrogen lichid cu o capacitate de $3{,}5 \cdot 10^6$ litri, ceea ce echivalează din punct de vedere energetic cu capacitatea de stocaj a celei mai mari centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompaj (CHEAP) din lume, de la Ludington Michigan. Stocarea criogenică are avantajul că se poate face oriunde, indiferent de condițiile climaterice și de influența factorilor geologici și geografici. Stocarea hidrogenului gazos în structuri metalice este posibilă datorită reacției acestui combustibil cu diferite metale și aliajelor în condiții adecvate de presiune și temperatură. Combustibilul se regăsește în capcana hidrurii, în formă atomică mai mult sau mai puțin ionizantă, care ocupă rețeaua cristalină a metalului. Reacția este reversibilă adică prin încălzirea hidrurilor la anumită presiune și temperatură, altele decît cele inițiale, metalele eliberează hidrogenul sub formă gazoasă. Hidrurile sînt de fapt

niște bureți și eliberează după dorință un singur gaz, hidrogenul. În prezent se cunosc game largi de metale care reacționează în anumite condiții de presiune și temperatură cu hidrogenul devenind medii adecvate de stocare a acestui tip nou de combustibil. Astfel, paladiul poate absorbi hidrogen de 982 ori mai mult decît propriul său volum și îl eliberează fără efort deosebit.

Stocarea căldurii în centrale electrice sub forma unor acumulatoare de abur sau apă fierbinte se practică de peste 40 de ani dar realizarea acestor tipuri de depozite prezintă o serie de neajunsuri cum ar fi: stocările de fluid cald se obțin la presiuni ridicate în special cu ajutorul rezervoarelor metalice la care pierderile de căldură variază între (5 ... 10)% și tind să crească o dată cu creșterea duratei de stocare, stocarea apei calde la adîncimi mari necesită consumuri suplimentare de energie atît la încărcarea cît și la descărcarea depozitului. La stocarea aburului trebuie avute în vedere diferențele de temperatură care există între depozitul încărcat și cel gol pentru a se preveni creșterea nivelului de pierderi precalculat. Deși stocarea căldurii (abur, apă caldă) prezintă unele neajunsuri ea trebuie realizată mai ales în cazul consumatorilor cu regim aleatoriu cum sînt procesele recuperative din industrie și cele legate de conversia formelor neconvenționale de energie (solară, eoliană, geotermică, biomasică etc.). În cadrul centralelor electrice acumularea apei fierbinți în cazane și în rezervorul de alimentare a circuitului termic are drept scop optimizarea regimului de funcționare al instalațiilor și înlesnește creșterea randamentului concomitent cu reducerea consumurilor specifice. Asemenea situații apar în special la instalații energetice de vîrf care funcționează cu sarcini variabile. Detaliile tehnice de realizare a unor scheme termomecanice care să permită utilizarea cît mai eficientă a stocurilor de căldură (apă fierbinte, abur) din cadrul instalațiilor care echipează centralele termoelectrice de mare capacitate se pot urmări în literatură [41]. Stocarea căldurii sub formă de apă fierbinte este oportună în cazul unor centrale nuclearo-electrice de mare putere. Stocul din cadrul circuitului termic al unei asemenea centrale nucleare de 600 MW lucrează la temperaturi de (75 ... 217°C) și la presiuni de (20 ... 30) bari. Asigurarea unui debit de căldură la ora de vîrf implică construirea unui depozit subteran cu pereții metalici relativ subțiri înalt de (30 ... 35) metri cu o acoperire de 60 metri deasupra punctului cel mai înalt al cavității. Pierderile zilnice de căldură sînt de circa 2% din energia termică acumulată. Puterea centralei care folosește energia acumulată, crește de la 600 MW la 750 MW timp de șapte ore zilnic dacă se dispune de două asemenea rezervoare de căldură. Energia acumulată este de 35 kWh/m^3 cu un efort de investiții de 10% din costul centralei. Costul energiei produse la vîrf este cu (30 ... 50) % mai mic decît costul obținut în centrale termoelectrice de vîrf alimentate cu hidrocarburi. Stocarea căldurii sub forma de abur în rezervoare sub presiune se poate realiza în special la consumator care dispune de o centrală de termoficare de mică putere echipată cu turbine cu contrapresiune. Acumulatorul de căldură livrează exclusiv abur saturat la presiune constantă și volum variabil sau la presiune variabilă și volum constant. Depozitele cu presiune variabilă influențează negativ indicele de termoficare. Din cauza dificultăților tehnologice depozitele de abur se realizează la capacități limitate de circa (3 ... 12) ore de funcționare. Pentru consumatorii care nu admit întreruperi este mai avantajos ca în perioadele de vîrf să se dis-

pună de acumulatoare de abur decît să se mențină în funcțiune cazane convenționale. Astfel de rezervoare de abur denumite acumulatoare sînt realizate la presiuni (17 ... 45) bari și temperaturi de (265 ... 350°C) pentru alimentarea unor consumatori vitali din industria chimică. Aburul poate fi stocat și în conductele ce leagă sursa de consumatori dar stocul este relativ redus. Astfel, pentru o viteză a aburului 25 m/s într-o conductă de 5 km lungime durata echivalentă a stocului este de 70 secunde cînd prin variația presiunii se mărește cererea de abur la consumator de la simplu la dublu. Acumularea energiei în conducte este mult mai avantajoasă dacă fluidul stocat este hidrogenul. Stocarea energiei în conductele de termoficare permite realizarea unei acumulări cu ciclu zilnic care să conducă la îmbunătățirea randamentului întregii instalații. Realizarea unor stocuri de energie termică în subteran pentru reluarea sarcinilor sezoniere de căldură se face în camere din beton izolate cu volume de pînă la 20 000 m³. Dacă cererile cresc, atingînd circa 200 000 m³ atunci stocurile se pot forma în grote etanșe săpate în stînci care prezintă un grad înalt de izolare termică. Pentru a reduce pierderile de energie din rețeaua de joasă presiune, acumulatoarele de căldură trebuie plasate în apropierea punctelor de injecție a energiei termice în procesele energointensive. Acumulările de căldură sub forma stocurilor de energie termică se pot realiza pe următoarele căi: acumularea căldurii, folosind proprietățile fizice și chimice ale unor substanțe cu și fără schimbarea stării lor de agregare și acumularea căldurii pe baza procedeelor chimice exotermice și endotermice. Stocurile de energie bazate pe proprietățile fizice și chimice ale unor substanțe, fără schimbarea stării de agregare se pot realiza cu ajutorul recuperatorilor din industrie. Aceste tipuri de acumulări vor fi extinse pentru stocarea energiei solare la nivelul consumatorilor dezavantajați cu ciclu diurn la care se pot folosi fluide obișnuite (în special apă) drept mediu de acumulare a energiei termice preluate prin ciclu heliotermic. Acumularea energiei termice în unele fluide care prin încălzire își schimbă starea de agregare este de preferat la transformarea apei din lichid în vapori. Se pot folosi și alte clase de fluide dar pentru economicitate se recomandă ca procesul să se realizeze în circuit închis. Acumulatoarele de căldură bazate pe utilizarea proprietăților unor materiale fără schimbarea stării de agregare au o extindere mai largă, fiind utilizate în diverse aplicații industriale. Stocările energiei cu ajutorul unor materiale (fluide, lichide, solide) care își modifică starea de agregare s-au realizat la dimensiuni reduse și au fost folosite numai la consumator pentru încălzire și climatizare cu scopul reducerii vîrfurilor de consum. Căldura acumulată se poate folosi pentru dezghețul suprafețelor de rulare a unor drumuri sau pentru diverse aplicații industriale și casnice care apar sezonier. Interesul pentru utilizarea acumulatoarelor de căldură de tipul descris apare în cazul cînd sursele primare de energie au regimuri funcționale impuse — sarcini constante ca la CNE sau regim de funcționare intermitent ca la sursele heliotermice. Acumulatoarele cu fluxuri sînt superioare celor bazate pe alte tipuri de substanțe și trebuie studiate în vederea realizării unor instalații de dimensiuni mici și mijlocii destinate încălzirii locuințelor cu ajutorul energiei solare. Utilizarea procedeelor chimice exotermice și endotermice pentru stocarea energiei este extinsă la împiedicarea degajărilor accidentale de căldură. Studiile făcute în această direcție arată că aceste căi au perspective

deosebite pentru acumularea căldurii degajate de diverse substanțe chimice puse în contact și livrarea acestei energii consumatorilor industriali. Indiferent de natura sursei de căldură procedeul oferă posibilitatea transportului energiei la distanțe pînă la 160 km la un cost de circa două ori mai scăzut decît cel practicat în prezent. Randamentul unor astfel de instalații de acumulare și livrare de energie bazate pe reacții exotermice și endotermice este de 80%. Instalația utilizată în practică pentru stocarea energiei se compune din două reactoare chimice în care au loc reacții endo și exotermice plasate la producător și consumator legate între ele prin două conducte prin care circulă substanțe chimice cu conținut ridicat și coborît de energie în structurile lor moleculare. Din reacție rezultă căldura care se poate utiliza la consumator pentru încălzire sau pentru producerea energiei electrice în termoficare, respectiv căldura produsă poate fi stocată și utilizată la ora de vîrf a sistemului. În astfel de instalații, fluidele în reacție pot fi diferite ca în cazul instalațiilor realizate cu metan și apă, care prin amestec produc oxid de carbon și hidrogen. Cînd amestecul gazos ajunge la consumator, reacția inversă recombină CO și H, generîndu-se amestecul metan-apă. O altă experiență permite convertirea unei hidrocarburi (ciclohexan) în benzen și hidrogen cînd sursele sînt realizate la nivele coborîte de temperatură.

O cale de stocare a energiei cu mari perspective la nivelul sistemelor energetice complexe o constituie realizarea centralelor hidroelectrice cu pompare-acumulare-turbinare a resurselor hidraulice. Pomparea apei în afara vîrfului sistemului înlesnește pe de o parte ridicarea golurilor de noapte și prînz ale curbei de sarcină și contribuie pe de altă parte la încărcarea grupurilor în funcțiune și la micșorarea consumului specific de combustibil. Totodată se acoperă vîrfurile de sarcină, prin turbinarea apei la cererea maximă de energie, cînd prețul acesteia devine de circa trei ori mai mare decît în momentul pompării. Eficiența acestor tipuri de instalații pentru stocarea indirectă a energiei a stimulat realizarea la nivel mondial a unor instalații de pompare-acumulare de peste 6 000 MW cu perspectivă de extindere pînă la 15000 MW [41]. În prezent funcționează o serie de centrale hidroelectrice cu pompare-acumulare care prezintă următoarele caracteristici: puterile unitare ale CHEAP sînt de (1 000 ... 1 300) MW realizate la căderi de (350 ... 550) m; duratele de funcționare în ciclu diurn sînt de circa 8 ore în medie la pompare și (7 ... 8) ore în medie la turbinare; puterile unitare maxime pe grupuri în regim de turbinare sînt de 336 MW în Europa și Japonia și de 450 MW în SUA. Efectele tehnico-economice ale CHEAP se pot sintetiza astfel: — o reducere limitată a consumului de combustibil în CTE și CET și o majorare a gradului de ardere a combustibilului nuclear în CNE rezultate din trecerea acestor unități din domeniul sarcinilor variabile, în regim de bază cu sarcini constante la valori economice, ceea ce antrenează consumuri specifice minime de combustibil și energie; înlocuirea unor cantități de combustibil superior utilizat pentru funcționarea centralelor electrice de vîrf, cu cărbune și uraniu utilizați în cadrul centralelor electrice funcționînd în regim de bază; realizarea unor economii de energie primară pe întregul sistem pe calea înlocuirii instalațiilor energetice de vîrf cu consum specific ridicat cu instalații energetice mai economicoase, care funcționează în regim de bază. Pentru CHEAP care

funcționează în circuit închis economia de combustibil realizată se calculează cu o relație de forma:

$$B = E_v\left(\frac{b_v}{b_b} - \frac{1}{\eta_t \cdot \eta_{tr}}\right) + E_b\left(\frac{b_x}{b_b} - 1\right) \qquad (7\text{-}1)$$

în care: E_v — energia produsă în CHEAP; E_b = energia produsă în centralele termoelectrice de bază; b_x; b_b = consumurile specifice la sarcină variabilă (b_x) și la sarcină de bază (b_b); b_v = consumul specific al centralelor termoelectrice de vîrf înlocuite de CHEAP; η_t = randamentul total de conversie; η_{tr} = randamentul de transport al energiei necesare funcționării CHEAP în regim de pompare. Justificarea economică a CHEAP se poate face și pe baza costului energiei produse la golul curbei de sarcină și a costului energiei produse la vîrful curbei de sarcină. Este știut că la vîrful sistemului energetic costul energiei este de circa trei ori mai mare decît costul energiei produse la golul curbei de sarcină. Această cale de realizare a economiei de combustibil este cu atît mai favorabilă cu cît crește ponderea în sistem a centralelor de bază (CNE, centrale cu șisturi bituminoase) sau cînd în sistem apar centrale ale căror regimuri de funcționare depind de sursă (eoliană, solară, geotermică, biomasică, biogazică, etc.). Costul energiei crește în centralele electrice pe măsura creșterii cotei fixe de cheltuieli în structura costului total al energiei la durate de funcționare mai mici ca 5 000 h/an. Dacă regimurile de funcționare constante se realizează la circa (6 000 ... 6 500) h/an atunci este avantajos ca vîrfurile de sarcină să se acopere cu ajutorul CHEAP care pot folosi energia hidraulică stocată. Datorită avantajelor pe care le prezintă, CHEAP, se vor dezvolta sensibil pînă în 1990, astfel încît la nivel european puterea lor instalată în balanța energetică a Europei să fie de circa 10%. În ultimul timp s-au realizat scheme de stocare a energiei în CHEAP prin coborîrea nivelului apei în rezervorul inferior. O astfel de CHEAP cu rezervoare realizate subteran la o putere de 660 MW a intrat recent în funcțiune la Bumen în R.F.G. Avantajul CHEAP cu bazine subterane constă și în faptul că acestea se pot realiza pe orice teren (chiar plat). Pînă la căderi de 600 metri este avantajos să se utilizeze grupuri reversibile. La căderile (600 ... 1 200) metri este mai rațional să se folosească pompe și turbine separate. Costul energiei produse în CHEAP cu putere de 2 000 MW realizate cu bazin subteran de $9{,}5 \cdot 10^6$ m^3, cu căderi de 1 000 m, cu regim de funcționare diurn de 10 ore/zi, cu investiție specifică de 200 dolari/kW$_i$ este mai mic decît costul energiei produse în centrale termoelectrice de vîrf.

Stocarea aerului comprimat se poate realiza în caverne saline sau în nape de gaze naturale. Aerul poate fi comprimat cu ajutorul unor compresoare care funcționează la orele de gol ale curbei de sarcină. La vîrf aerul stocat se utilizează la producerea energiei electrice cu ajutorul unei turbine de gaze. Pe această cale se poate obține o putere de circa trei ori mai mare decît în cazul cînd compresorul ar trebui să funcționeze simultan cu turbina. Stocarea aerului comprimat și refolosirea acestuia la vîrful curbei de sarcină este mai economicoasă decît stocarea energiei hidraulice în CHEAP. Bilanțul energetic al instalației de turbine cu gaze de vîrf cu stocare, în comparație cu bilanțul unei CHEAP de putere echivalentă arată astfel: energia electrică consumată

este mai mică în cazul centralei cu turbine cu gaze (CTG) cu 112 MWh; energia electrică produsă este mai mare în cazul (CTG) cu 140 MWh față de cea realizată cu o CHEAP cu putere egală; raportul energiei produse (E_p) și a celei consumate (E_c) este de 1,24 la o CTG față de 0,7 la o CHEAP; puterea dezvoltată de turbina cu gaze la cuplă este practic egală cu puterea livrată în rețea. Pierderile în acest caz sînt de circa 4%. Puterea compresorului poate fi mai mică în anumite condiții decît a turbinei mai ales cînd timpul de stocare al aerului este mai mare decît timpul de producere al energiei electrice; stocarea aerului se poate realiza la (40 ... 70) bari atît în recipiente presurizate care funcționează la presiuni variabile cît și în depozite cu volume variabile la presiune constantă. Depozite de aer comprimat cu volume variabile și presiune constantă s-au realizat în schemă echipată cu două rezervoare, unul de apă plasat la suprafață și altul de aer așezat subteran. În timpul încărcării, apa circulă din rezervorul subteran în rezervorul suprateran, iar în timpul descărcării apa ia locul aerului în rezervorul subteran permițînd utilizarea întregului volum de aer. Rezervorul de aer comprimat realizat la Huntorff în R.F.G. lîngă Hamburg este utilizat pentru o turbină de 290 MW în regim de două ore pe zi. El este amplasat la 500 metri adîncime într-o salină cu un strat protector deasupra cavernei de 100 metri. Presiunea aerului stocat este de 60 bari. Schema de organizare a cavernei cuprinde două rezervoare legate între ele cu un tunel de 30 metri diametru în lungime de 180 m. Fiecare rezervor are un volum de 135 000 m³. Costul acestui rezervor subteran realizat într-un masiv de sare este mai mic decît în cazul construirii unui depozit metalic suprateran. În Europa s-a mai realizat asemenea depozite de aer comprimat și anume în Franța la Tersanne, caverna subterană este realizată într-o salină care comunică cu exteriorul prin două tuburi concentrice. Tubul interior este utilizat pentru injecția apei iar cel exterior pentru circulația aerului comprimat. Eficiența tehnico-economică a utilizării aerului comprimat la nivelul rezervoarelor cu presiune constantă este mai mare decît a celor cu presiune variabilă în special sub aspectul utilizării aerului din depozit. Acest avantaj duce la realizarea unor caverne subterane mai mici cu circa 30% în cazul depozitelor cu presiune constantă față de cele cu presiune variabilă la același efect util din punct de vedere energetic. Eficiența instalației de acumulare a aerului comprimat se apreciază prin energia electrică produsă pe unitatea de volum (kWh/m³). Exploatarea depozitelor poate contribui la mărirea eficienței instalațiilor de producere a energiei. Se știe că un depozit realizat la volum constant se poate exploata fie la presiuni variabile în arzător cu efecte directe asupra scăderii puterii turbinei, fie la presiune constantă în arzător obținută prin laminarea aerului cu repercusiuni asupra creșterii consumului specific și a reducerii producției de energie electrică. Energia specifică produsă depinde de raportul dintre presiunea maximă și cea minimă din acumulatorul de aer comprimat. Astfel, pentru $(p_{max}/p_{min}) = 1{,}4$ și $p_{max} = 60$ bar rezultă energii specifice produse de 13,2 kWh/m³ în cazul stocării aerului la presiune constantă și de (2,65 ... 2,75) (kWh/m³) în cazul depozitelor de stocare a aerului la volum constant. Producția specifică de 2,65 kWh/m³ se realizează la exploatarea turbinelor la presiunea variabilă, iar cea de 2,75 kWh/m³ se obține la exploatarea turbinei la presiune constantă obținută prin laminare. Dacă se recuperează energia din gazele

de ardere pentru încălzirea aerului atunci producția de energie crește cu 30%. Pe această cale se obține circa 85% energia transformată în electricitate din energia primară utilizată.

Stocarea energiei cinetice prin volanți cu scopul utilizării acesteia la vîrful sistemului se poate realiza astfel: utilizarea unor dispozitive de demaraj cu volant pentru acumularea energiei cinetice necesare pornirii unor motoare cu ardere internă realizate la puteri relativ reduse; preconizarea unor resurse independente de energie pentru acționări de autovehicule; crearea și punerea în funcțiune a generatoarelor electrice de impuls cu mare putere la standuri de probă cu durate de livrare a puterii de ordinul secundelor; proiectarea unor instalații de mare siguranță în funcționare pentru a permite intrarea în funcțiune a alimentării de rezervă; prevederea unor unități de intervenție de vîrf și pentru situații de avarie. Acumulatorul cu volant pentru stocarea energiei cinetice se întîlnește în transporturi sub forma de giroscoape pentru acționarea autovehiculelor (accelerare și frînare a unor mase în rotație), grupuri motor-generator cu volant folosite în fizica plasmei în cadrul instalațiilor generatoare de impuls. Volantul utilizat în cadrul institutului Max Plank din R.F.G. este din oțel aliat cu patru discuri pe un arbore și are o greutate de 229 tone. Capacitatea sa este 4 000 kWh ce se pune la dispoziție timp de 30 secunde prin modificarea turației volanților de la 1 650 la 1 275 rot/minut. Volanți de dimensiuni limitate se utilizează pentru cuplarea sursei de energie electrică de rezervă și cuplarea pompelor din circuitul primar al reactoarelor. Astfel, se evită avarierea reactorului datorită întreruperii răcirii zonei active circa zece secunde pînă se cuplează pompele de rezervă, dacă pompele principale s-au avariat. Energiile stocate în volanți depind de caracteristicile materialului, densitatea care asigură energia cinetică și rezistența la tracțiune provocată de forțele centrifuge. Materialele cele mai eficiente pentru realizarea volanților sînt cele cu greutate specifică cît mai mică și rezistența la tracțiune cît mai mare. Din această categorie de materiale fac parte aliajele de aluminiu, oțelurile aliate de mare rezistență, fibrele de sticlă, fibrele poliamidice, materiale pe bază de fibre de carbon, fibre de siliciu topit, etc. Fibrele poliamidice au o capacitate de stocare de șapte ori mai mare decît oțelul aliat, iar fibrele de siliciu topit ar putea înmagazina de (10 ... 15) ori mai multă energie decît aceeași masă de oțel aliat special. Rezistența deosebită la tracțiune a acestor materiale se obține atunci cînd toate fibrele sînt paralele și forța de tracțiune se aplică pe direcția acestora. Aplicațiile energetice ale volanților pentru acumularea energiei și utilizarea ei la vîrful sistemului se poate realiza cu instalații mari, dacă sînt asigurate condiții de securitate în funcționare a pieselor mari în mișcare. Practic astfel de instalații se realizează în încăperi blindate. Ansamblul volanților trebuie să funcționeze într-un gaz inert la joasă presiune pentru a reduce pierderile prin frecări. Echipamentele energetice cu volanți cu diametre de (4 ... 5) metri pot fi grupate sub forma de baterii amplasate subteran în încăperi asigurate în caz de rupere a pieselor în mișcare. Un ansamblu de astfel de volanți ar cîntări circa 150 tone. Viteza de rotație poate fi de 3600 rot/min. Capacitatea de stocare s-ar ridica la circa 20 MWh. Dacă pentru fiecare unitate în mișcare se realizează circa 3 MWh atunci capacitatea de stocuri de 150 MWh s-ar putea realiza cu 50 de volanți cu dimensiuni curente. Investiția specifică

pentru realizarea unor astfel de unități energetice ar fi egală cu o pătrime din investiția specifică din centrale termoelectrice. Cheltuielile suplimentare care apar în cazul instalațiilor energetice înzestrate cu volanți sînt legate de structura echipamentelor mecanice și electrice, de concepție, de protecție și automatizare a întregii instalații și de realizarea unor activități cu gaz inert pentru volanți în mișcare la viteze variabile. O restricție tehnologică pentru realizarea unui regim de funcționare corespunzător al instalațiilor energetice cu volanți constă în menținerea constantă a produsului dintre viteza volantului și accelerația acestuia. O soluție practică pentru a putea îndeplini condiția impusă pentru producerea curentului alternativ de frecvență constantă o reprezintă convectorul cu tiristori introdus și la exploatarea CHEAP. Volantul ar funcționa în acest caz ca un convector-alimentator pentru mașina electrică. O astfel de schemă dă posibilitatea de-a controla circulația de putere către și de la sistemul energetic. Se apreciază [41] că randamentul unor astfel de instalații este de 90%, dar instalația convertoare cu tiristoare care prezintă astfel de performanță este scumpă. Dacă cu ajutorul unor astfel de instalații s-ar produce curent continuu atunci investițiile și cheltuielile totale s-ar reduce substanțial față de cazul producerii curentului alternativ. Această direcție de stocare prin volant începe să devină competitivă cu acumulările hidraulice realizate cu ajutorul CHEAP sub aspectul investițiilor și cheltuielilor dar randamentele realizate sînt în general mai mari în cazul stocării energiei prin volanți față de acumulările energiei hidraulice în scheme CHEAP.

Necesitatea introducerii mai rapid a acestor forme de energie în balanța energetică națională este dictată de diferența care există între cerere și posibilitatea acoperirii ei. Această diferență se poate reduce pe următoarele căi: reașezarea cererilor de energie în raport cu necesitățile revăzute la toate nivelele; ameliorarea randamentelor de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei; antrenarea unor surse neepuizabile în circuitul economico-energetic național. Pe plan mondial rezolvarea acestor probleme este condiționată de următorii factori: maturitatea tehnică a fiecărui procedeu care reclamă o experiență în cercetare și experimentare astfel ca la aplicarea în practică a diverselor procedee să nu apară dificultăți de ordin tehnic în privința exploatării instalațiilor energetice; existența bazei industriale pentru realizarea soluțiilor preconizate privind exploatarea atît a surselor primare cît și a instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei; crearea unor fonduri de investiții care să permită realizarea și implementarea surselor noi; cunoașterea impactului sursei noi asupra mediului înconjurător și studierea reacției societății la apariția noii resurse; penetrarea unei noi tehnologii în domeniul industrial ținînd cont de factorii expuși se face pe baza unei relații de forma:

$$f = [1 + e^{-a(t-t_2)}]^{-1} \qquad (7\text{-}2)$$

în care: a = rata de penetrare; $(t - t_0)$ = durata din momentul introducerii unei noi surse pînă în momentul analizat. Aplicarea teoriei stocurilor la nivelul sistemului de energie din țara noastră trebuie făcută începînd cu întreprinderile de extragere și preparare a resurselor combustibile și continuînd cu centralele electrice din sistem, respectiv cu consumatorii de resurse primare din cadrul

lanțurilor energetice ce leagă sursele de energie primară de receptori. Astfel la nivelul întreprinderilor de extracție și pregătire a resurselor primare, combustibilul se prepară mecanic prin ciuruire, sortare și se înnobilează prin hidrogenare cu scopul pe de o parte de-a înlătura sterilul și pe de altă parte de-a ridica puterea calorifică inferioară a combustibilului obținut. La nivelul centralelor electrice aplicarea teoriei stocurilor permite rezolvarea sosirilor ritmice și a descărcării în termen a vagoanelor încărcate cu combustibil (solid, respectiv lichid) și înlesnește organizarea depozitelor atît prin stivuirea cărbunelui în depozitul central cît și prin asigurarea cu resurse a stocurilor din buncărele centralei. La celelalte categorii de consumatori problema aprovizionării ritmice și gospodărirea rațională a resurselor combustibililor se rezolvă tot cu teoria stocurilor.

Aplicarea teoriei așteptării trebuie făcută începînd cu proiectarea și montajul obiectivelor energetice și continuînd apoi cu organizarea rațională a exploatării atît a întreprinderilor de centrale și rețele cît și a sectoarelor energetice din cadrul întreprinderilor consumatoare de energie. La nivelul proiectării, teoria așteptării se aplică cu scopul micșorării timpului de așteptare dintre finalizarea documentației de investiție și primirea acestora la întreprinderea care montează obiectivul energetic. Pentru micșorarea timpului în care se elaborează o documentație privind conceperea și proiectarea obiectivelor energetice (centrale, stații, linii, consumatori, surse de energie etc.) trebuie făcut apel la concepția sistemică, modelarea activității ținînd cont de toate implicațiile care intervin la frontiera sistemului cu mediu și la proiectarea asistată de calculator a obiectivului energetic în vederea stabilirii variantei optime de concepere și realizare a unui nou obiectiv. La nivelul montajului, timpii de așteptare se pot micșora prin aplicarea în practică a teoriei grafelor. Pe baza acestei teorii se construiește graful desfășurării montajului ținînd seama de restricțiile tehnologice și se determină timpul total de montaj pe baza drumului critic în condiții restrictive de resurse și cost. Problemele care cad sub incidența întreprinderilor de montaj (centrale, stații, linii) se referă la organizarea șantierelor, la organizarea montajului propriu-zis al agregatelor energetice și la efectuarea (pe bază de grafic calendaristic) a probelor tehnologice. În exploatarea obiectivelor energetice, teoria așteptării are un cîmp larg de aplicații începînd cu reducerea timpilor de așteptare a vagoanelor cu combustibil care au sosit în triajul întreprinderii de electrocentrale și continuînd cu modul de organizare a reparațiilor la nivelul agregatelor, la nivelul liniilor și la nivelul stațiilor de la furnizorii, respectiv de la consumatorii de energie. Pe baza teoriei așteptării se poate organiza aprovizionarea cu resurse a întreprinderilor energetice și se pot coordona activitățile de reparație a utilajelor cu cele de producție, astfel încît să se reducă fondurile de locație a vagoanelor care staționează încărcate cu combustibil, să se reducă nivelul de putere în reparație, respectiv în rezervă, să se omogenizeze structura echipelor de lucru (aprovizionare, reparație, producție, distribuție, facturare de energie) așa fel încît cheltuielile cu așteptarea să fie minime. Modul de aplicare a teoriei așteptării la conceperea obiectivelor energetice (proiectare-montaj) se poate urmări pe baza exemplelor numerice publicate în literatură [12] [13] [19] [20]. Din analiza acestor aplicații rezultă că timpii de așteptare a vagoanelor cu cărbune la nivelul unui CET de 1 000 MW

este minim dacă unitățile sosesc la estacada centralei din șase în șase minute și sînt descărcate automat.

Pentru a sintetiza modul de aplicare a teoriei așteptării la nivelul întreprinderilor de rețele se vor prezenta problemele ce trebuie să rețină atenția conducerilor acestor unități energetice și se vor face considerații privind modul de determinare atît a probabilităților de așteptare cît și a componenței echipelor de intervenție la nivelul secțiilor de înaltă tensiune, a centrelor de intervenție rapidă și a punctelor de exploatare a rețelelor de medie și joasă tensiune. Principalele probleme ce trebuie să rețină atenția conducerii de rețele sînt: asigurarea alimentării consumatorilor cu cantitatea de energie contractată; asigurarea fără întrerupere a consumatorilor de energie prin organizarea alimentării receptoarelor astfel încît să se evite incidentele și avariile provocate de sistem și cele care au loc în interiorul fiecărui sector energetic al întreprinderilor industriale conduse operativ de dispecerul furnizor; asigurarea calității energiei furnizate prin păstrarea constantă a parametrilor atît a energiei electrice ($U = \text{ct}$; $f = \text{ct}$) cît și a energiei termice ($P = \text{ct}$; $T = \text{ct}$); asigurarea funcționării raționale din punct de vedere tehnico-economic a fiecărui lanț tehnologic din cadrul subsistemului condus operativ de întreprindere și rezolvarea problemelor de deservire a rețelei astfel încît să se prevină și să se înlăture la timp problemele de așteptare prin organizarea rațională a tuturor activităților. Datele de calcul a parametrilor din cadrul modelelor de așteptare se preiau din evidența operativă a întreprinderii de rețele electrice analizate pe o perioadă de un an premergătoare perioadei de plan. Analiza timpului de așteptare a lucrărilor din rețea (intervenții și remedieri în urma unor avarii; deranjamente; demontări aparate de măsură și control pentru verificare, prevenirea și combaterea poluării, efectuarea de măsurători de sarcină și tensiune, întreținеri și revizii tehnice, reparații și schimbări de structură a rețelei, etc.) în vederea deservirii operative a tuturor consumatorilor și alimentarea fără întrerupere a întreprinderilor cu energie la nivelul județului studiat a implicat cunoașterea pe de o parte a structurii personalului de deservire operativă care formează stațiile din schema de așteptare, precizarea numărului de lucrări ținînd seama de numărul de incidente și durata lor pe cele cinci centre (I ... V) de lucru ale subsistemului energetic județean. Calculînd cheltuielile totale pe durata unui an de exploatare a rețelelor electrice din județul considerat pe baza teoriei așteptării se obțin pentru două ($S = 2$) și trei ($S = 3$) stații de deservire valorile din tabelul (7-1) a, b.

Cheltuielile de calcul pe durata unui an ocazionate de asigurarea deservirii rețelei electrice din zona analizată, sînt determinate astfel încît la un timp precalculat de așteptare să rezulte un efort minim la nivelul subsistemului județean cercetat. Soluția optimă rezultă în cazul deservirii rețelei cu trei echipe ($S = 3$) cu un grad de ocupare de circa 80%, cînd sosirea lucrătorilor respectă legea Poisson și cînd servirile se supun legii exponențiale negative. Asigurarea condițiilor normale de lucru implică aplicarea în practică a unor măsuri tehnico-organizatorice cum ar fi: construirea unei structuri noi a procesului informatic prin realizarea unui flux informațional rapid și pertinent (circuite proprii de comunicație, elemente de măsură și semnalizare,

TABELUL 7.1-a

Parametrii procesului de așteptare la nivelul unei echipe de intervenții din cadrul unui microsistem energetic județean. Cheltuielile specifice de așteptare pe clase de activități.

Cheltuieli de exploatare / Centre	I	II	III	IV	V
— K_1 (lei/h)	500	400	500	1000	400
— Cheltuieli de transport 10^3 (lei/an)	105	70	50	70	70
— Cheltuieli materiale 10^3 (lei/an)	55	25	30	25	20
— Cheltuieli cu retribuția 10^3 (lei/an)	900	350	450	500	350
— Cheltuieli cu amortizare mijloace fixe 10^3 (lei/an)	55	20	25	30	30
— Cheltuieli cu amortizare mijloc de transport 10^3 (lei/an)	30	25	30	35	20
— Cheltuieli cu uzura echip. și mijl. 10^3 (lei/an)	30	20	13	25	15
— Cheltuieli pt. admiterea rapidă a lucrării la echipe 10^3 (lei/an)	2	2	2	2	2
— Cheltuieli diverse 10^3 (lei/an)	3	5	4	5	3
K_2 (lei/oră)	5,7	2,5	3	2,6	2,3
$Z_{11c}^{S=2} = 12{,}5 \cdot 10^6$ (lei/an)	$n = 0{,}138$; $\psi = 0{,}765$ $p = 0{,}465$; $k_1 = 500$ lei/h $k_2 = 5{,}7$ lei/h	—	—	—	—

TABELUL 7.1-a (continuare)

Z calcul \ Centre	I	II	III	IV	V
$Z_{Itc}^{S=3} = 7{,}85 \cdot 10^6$ (lei/an)	$S = 3$ $n = 0{,}0122$		—	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 0{,}2577 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}1181 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	$S = 2$; $\psi = 0{,}769$; $n = 8 \cdot 10^{-2}$ $p = 0{,}485$; $k_1 = 400$ lei/h $k_2 = 2{,}5$ lei/h $S = 3$; $n = 4 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 1{,}47 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}49 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	—	$S = 2$; $\psi = 1{,}433$ $p = 0{,}163$; $n = 0{,}28$ $k_1 = 500$ lei/h; $k_2 = 3$ lei/h $S = 3$; $n = 0{,}0467$	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = [k_{1n} + k_2(S-\psi)]$han $+$ $+ p_n I_A = 0{,}3461 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}1064 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	—	—	$S = 2$; $\varphi = 0{,}724$ $p = 0{,}484$; $n = 9{,}5 \cdot 10^{-2}$ $k_1 = 1000$ lei/h $k_2 = 2{,}6$ lei/h $S = 3$; $n = 4{,}2 \cdot 10^{-3}$	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 0{,}316 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}152 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	—	—	—	$S = 2$; $\psi = 0{,}862$ $p = 0{,}365$; $n = 6{,}2$ $S = 3$; $n = 9{,}7 \cdot 10^{-2}$ $k_1 = 400$ lei/h $k_2 = 2{,}3$ lei/h

TABELUL 7.1-b

Cheltuielile totale anuale de așteptare la nivelul centrelor de intervenții din cadrul unui microsistem energetic județean

Z calcul \ Centre	I	II	III	IV	V
$Z_{Itc}^{S=2} = 12{,}5 \cdot 10^6$ (lei/an)	$n = 0{,}138$; $\psi = 0{,}765$ $p = 0{,}465$; $k_1 = 500$ lei/h $k_2 = 5{,}7$ lei/h	—	—	—	—
$Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}785 \cdot 10^6$ (lei/an)	$S = 3$ $n = 0{,}0122$	—	—	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 0{,}2577 \cdot 10^6$(lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}1181 \cdot 10^6$(lei/an)	—	$S = 2$; $\psi = 0{,}769$; $n = 8 \cdot 10^{-2}$ $p = 0{,}465$; $k_1 = 400$ lei/h $k_2 = 2{,}5$ lei/h $S = 3$; $n = 4 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 1{,}47 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}49 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	—	$S = 2$; $\psi = 1{,}433$ $p = 0{,}163$; $n = 0{,}28$ $k_1 = 500$ lei/h; $k_2 = 3$ lei/h $S = 3$; $n = 0{,}0467$	—	—
$Z_{Itc}^{S=2} = [K_{1n} + K_2(s-\psi) + p_n I_A = 0{,}3461 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}1064 \cdot 10^6$ (lei/an)	—	—	—	$S = 2$; $\psi = 0{,}724$ $p = 0{,}484$; $n = 7{,}5 \cdot 10^{-2}$ $k_1 = 1000$ lei/h $k_2 = 2{,}6$ lei/h $S = 3$; $n = 4{,}2 \cdot 10^{-3}$	—
$Z_{Itc}^{S=2} = 0{,}316 \cdot 10^6$ (lei/an) $Z_{Itc}^{S=3} = 0{,}152 \cdot 10^6$ (lei/an)			—	—	$S = 2$; $\psi = 0{,}862$ $p = 0{,}365$; $n = 6{,}2 \cdot 10^{-2}$ $S = 3$; $n = 9{,}7 \cdot 10^{-2}$ $k_1 = 400$ li/h $k_2 = 2{,}3$ lei/h

stații de radio și relee de translație pentru acoperirea tuturor punctelor de exploatare) care să permită scăderea timpului de izolare a echipamentului deteriorat; realizarea unor scheme elastice de rețele buclate care să poată prelua întregul consum din puncte diferite de injecție cu scopul reducerii la minimum a timpului de întrerupere a alimentării cu energie a consumatorilor; dotarea stațiilor de deservire cu mijloace de transport adecvate necesităților din teren; ridicarea calității lucrărilor de construcții-montaj pentru evitarea cauzelor ce provoacă avarierea instalațiilor datorită viciilor ascunse din perioada montajului, constituirea și operarea în zonă cu formații complete de lucru pe durata celor trei schimburi de muncă pentru a remedia neajunsul existent din acest punct de vedere cînd în schimbul 2 și 3 intervențiile se fac cu întîrziere deoarece constituirea formației de lucru durează circa o oră; ridicarea calificării personalului de exploatare pentru creșterea operativității la deservirea rețelei, intensificarea controlului la nivelul rețelei și al consumatorilor cu scopul depistării situațiilor potențiale de avarii, efectuarea de manevre la nivelul consumatorilor pentru a forma personal care să preia, în caz de avarie, energie din alte puncte de injecție și să evite pagubele potențiale prin crearea de la caz la caz a unor capacități tampon care să permită preluarea operativă a cauzelor de avarii condiționate de stările nefavorabile ale naturii, investiții noi în zonă, etc.

Aplicarea teoriei așteptării la nivelul sectoarelor energetice din cadrul întreprinderilor industriale urmărește eliminarea timpilor de mers în gol datorită atît golurilor de tensiune, cît și golurilor tehnologice. Aceste goluri înrăutățesc regimurile de funcționare ale instalațiilor energetice prin micșorarea gradului de încărcare a utilajelor simultan cu mărirea consumului specific de energie. Măsurile tehnico-organizatorice pentru diminuarea timpilor neproductivi la nivelul energeticii industriale se referă atît la calificarea personalului care trebuie să execute lucrările de întreținere și reparații de calitate cu scopul evitării incidentelor de exploatare cît și la evitarea golurilor tehnologico-organizatorice printr-o organizare rațională a fluxurilor de producție și a celor informaționale. O analiză detaliată a acestor clase de probleme se poate face odată cu elaborarea bilanțului energetic cînd trebuie făcută o analiză-diagnostic pertinentă a întregii activități energotehnologice cu scopul evidențierii cauzelor care provoacă așteptarea în sistemul analizat și a aplicării unui set de măsuri în vederea remedierii neajunsurilor constatate.

Premisele strategice ale economiei resurselor din cadrul sistemelor de energie cuprind concepția sistemică de abordare a activității energetice pe orizontala consum-producție și pe verticala proiectare-montaj-exploatare; abordarea previzională a economiei energetice și cibernetizarea activității energotehnologice. Pe baza acestor idei se pun în evidență atît aspectele teoretice cît și căile practice de proiectare-realizare a subsistemelor la care atît consumurile specifice și cele totale cît și consumurile proprii tehnologice au valori minime. Modelele care permit atingerea acestor deziderate sînt cele cu care operează balanța legăturilor dintre ramuri pentru obținerea optimului global și cele care se utilizează la elaborarea bilanțurilor energetice și exergetice pentru determinarea optimurilor parțiale pe forme de energii cercetate. În prezent se depun eforturi pentru elaborarea asistată de calculator a bilanțurilor energetice pe fluxuri tehnologice ținînd seama de formele de energie

înglobate în produsele industriale realizate. Această operație se face fie prin determinarea optimului global, fie prin aplicarea condițiilor de optim parțial pe structura unui bilanț energetic real. Economia sistemelor de energie trebuie abordată atît pe ansamblul instalațiilor cît și pe părți. Economia subsistemelor componente a unui sistem de energie cuprinde: economia surselor convenționale și neconvenționale de energie, economia lanțurilor energetice; economia consumului de energie și economia impactului sistem-mediu. La elaborarea bilanțurilor energetice în teoria cazurilor pe clase de instalație producere-transport-distribuție trebuie luate în considerație atît aspectele cantitative dintre disponibilul și necesarul de energie, cît și aspectele calitative legate de creșterile performanțelor tuturor tipurilor de instalații. Aspectele cantitative ale bilanțurilor energetice rezultă la aplicarea în practică a primului principiu al termodinamicii iar aspectele calitative se pun în evidență la aplicarea relațiilor cu care operează cel de-al doilea principiu al termodinamicii. Cele două aspecte trebuie coroborate pentru realizarea unui bilanț energetic închis la care economia de energie este maximă atît pe baza utilizării rationale ale resurselor cît și pe baza creșterii performanțelor tuturor instalațiilor. Economia de energie prezumată pe baza modelelor Leontief în structura sistemelor și la interfața lor cu alte sisteme și cu mediu se determină în teoria cazurilor prin elaborarea fie a bilanțurilor reale și transformarea acestora în bilanțuri optimizate, fie prin determinarea directă a soluției optime la care consumurile totale inclusiv cele specifice și cele proprii tehnologice sînt minime. Modelele matematice previzionale de tip Leontief fără și cu luarea în considerație a importului și exportului de energie se pot scrie sub următoarele forme:

$$E^p_{li}(t) = \sum_{j=1}^{u} c_{ij} \cdot x_{ij}(t) + E^m_{li}(t) + P^p_i(t) \cdot t; \quad i = (1 \dots n) \tag{7-3}$$

$$[1 + r_i(t) - r_e(t)]\, E^p_{li}(t) = \sum_{j=1}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij}(t) + E^m_{li}(t) + P^p_i(t) \cdot t$$

în care: $E^p_{li}(t) =$ energia totală a ramurii (i) în orizontul (t) de prognoză (ϕ) trebuie să acopere consumul ramurii (i) pentru procesele (j), să satisfacă momentan (m) cererea celorlalte ramuri (1) conectate sistemic de ramura producătoare de energie și să satisfacă consumul în perspectivă cu puterea (P_i) în timpul (t). Luarea în considerație a importului și exportului de energie se face cu ajutorul coeficienților $r_i(t)$ și $r_e(t)$. Aceste modele se pot aplica sistemic începînd cu consumatorii de energie și terminînd cu economia națională. La fiecare nivel: întreprindere, ramură, economie națională se elaborează o balanță energetică de tipul BLE (balanța legăturilor dintre ramuri). Avantajul acestor clase de modele constă în faptul că nu se face apel la costuri decît în faza finală după determinarea soluției optime de alimentare cu energie a ramurilor industriale. Această nouă optică de a ocoli indicatorii valorici diminuează eroarea ce s-ar putea strecura la optimizarea bilanțurilor prin utilizarea prețurilor curente pe perioade de prognoză a producției și consumului total de energie.

Modelele previzionale de prognoză a structurii sistemelor și a fluxurilor de energie în vederea determinării unei strategii matematice de economisire a resurselor energetice pe întregul lanț producție-consum se pot scrie astfel:

$$Z^{ifs}_{tac} = (Z^{if}_{tac} + Z^{is}_{tac}) = \text{minim}$$

$$Z^{if}_{tac} = \sum_{d}\sum_{e}\sum_{f}\sum_{g}\sum_{h} z^{ex}_{tac} \cdot x^{tac}_{defgh} \cdot b_{defgh} = \text{minim} \qquad (7\text{-}4)$$

$$Z^{is}_{tac} = (Z^{ce}_{tac} + Z^{le}_{tac} + Z^{cp}_{tac} + Z^{sc}_{tac} + Z^{cs}_{tac}) = \text{minim}$$

Restricțiile acestor modele se referă la următoarele probleme: acoperirea sarcinii de vîrf pe perioada cea mai încărcată a intervalului studiat; preluarea în condiții tehnico-economice avantajoase a golului de noapte; realizarea corelației dintre producția și consumul de energie ținînd cont de restricțiile capacității de transport: nedepășirea cantității disponibile de combustibil din rezervele prestabilite ținînd cont de posibilitatea de intersanjabilitate a sorturilor; îndeplinirea condițiilor de nenegativitate pentru setul de variabile și încadrarea în limite admisibile a necunoscutelor strategice și tactice.

Pentru determinarea costurilor specifice actualizate (în condiții de escaladare) z^{ex}_{tac} se face apel la teoria matematică a cercetării operaționale în următoarea formă:

$$z^{ex}_{tac} = \frac{\sum_{i} Z^{tac}_{cop_i}(1 + b_{ex})_i}{x_{tac}} = \frac{\sum_{i} (Z_{sa} + Z_{co} + Z_{imp} + Z_{cr} + Z_{iad})_{tac}(1 + b_{ex})^i}{\sum_{i} (1 + p_n)^{-i} E_{defgh}} \qquad (7\text{-}5)$$

în care: Z^{ifs}_{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru optimizarea fluxului (Z^{if}_{tac}) și a structurii (Z^{is}_{tac}) sistemului. Z^{if}_{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru valoarea fluxului primar; Z^{is}_{tac} = cheltuielile totale actualizate pentru structura (s) sistemului compuse din cheltuieli pentru consumatori (ce); pentru lanțul energetic (le); pentru centrala de producere a energiei (cp); pentru sursa de combustibil (sc) și pentru concepția sistemică cs). Z^{tac}_{cop} = = cheltuielile totale actualizate la aplicarea teoriei matematice a cercetării operaționale cînd se determină costurile; $x_{tac} = E_{defgh}$ = fluxul de energie total actualizat; b_{ex} = binom de escaladare a costurilor; $p_n = 0{,}06$ = coeficient normat al eficienței economice. Z_{sa}; Z_{co}; Z_{imp}; Z_{cr}; Z_{iad} = cheltuieli pentru aplicarea teoriilor stocare așteptare (sa); echipamente-ordonatoare (eo); ingineria umană-prognoză (imp); căutare-risc (cr) și ingineria inclusiv analiza valorii și decizia (iad). Schemele logice privitoare la optimizarea fluxului de energie și a structurii sistemului în perspectivă cu ajutorul cercetării operaționale atît la nivelul ramurii cît și la nivelul întreprinderilor consumatoare se dau în figurile (7-1-2).

Aceste scheme redau sintetic atît strategia de elaborare a bilanțurilor energetice de perspectivă cît și concepția alimentării cu energie a consumatorilor indicînd succesiunea operațiilor pentru optimizarea parțială și totală a consumului de energie. Pe baza acestor considerații se determină economia de energie primară și a energiei transformate care parcurge lanțul energetic producție-consum.

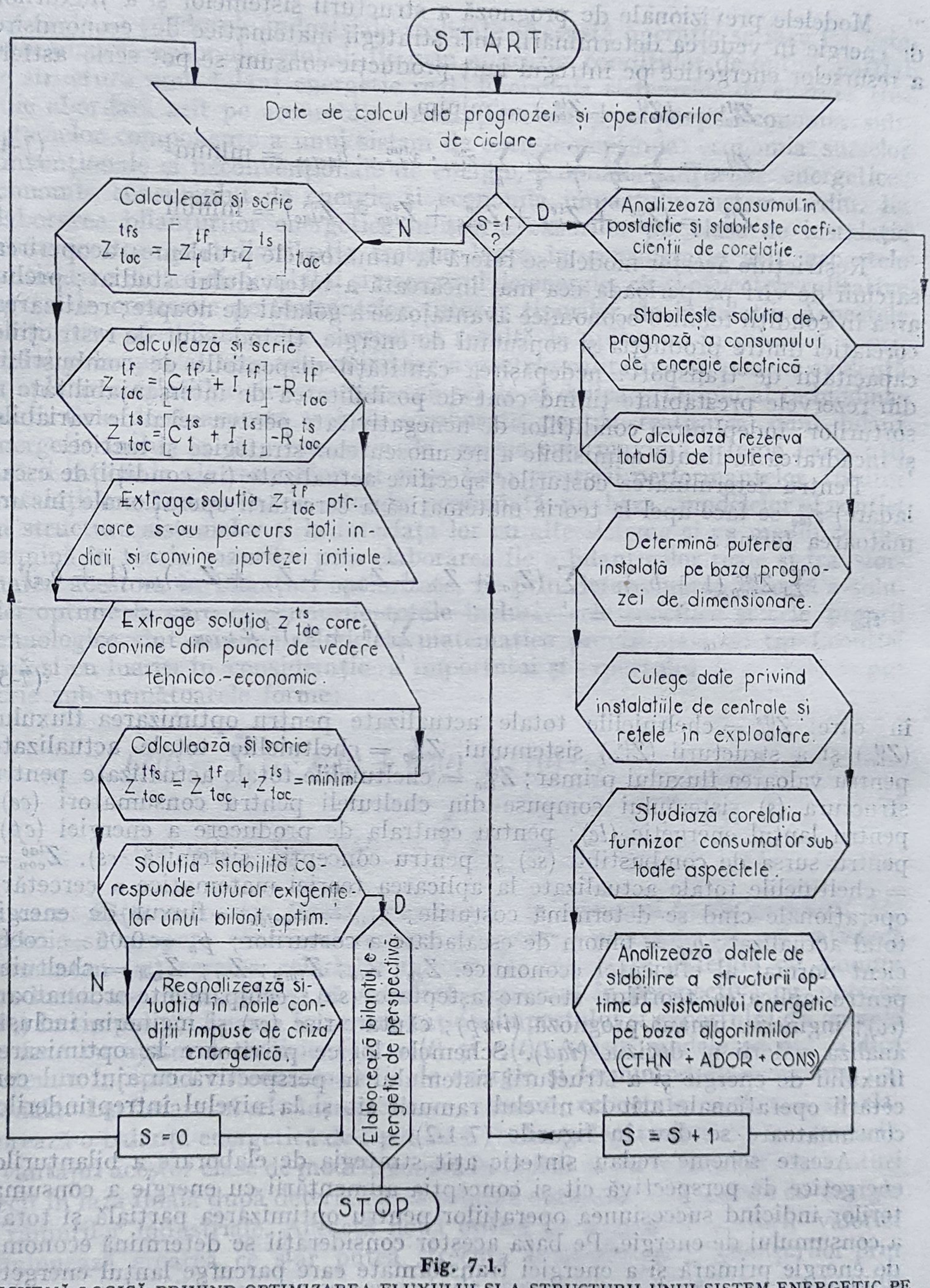


Fig. 7.1.

SCHEMĂ LOGICĂ PRIVIND OPTIMIZAREA FLUXULUI ȘI A STRUCTURII UNUI SISTEM ENERGETIC PE BAZE PREVIZIONALE ALE CERCETĂRII OPERAȚIONALE.

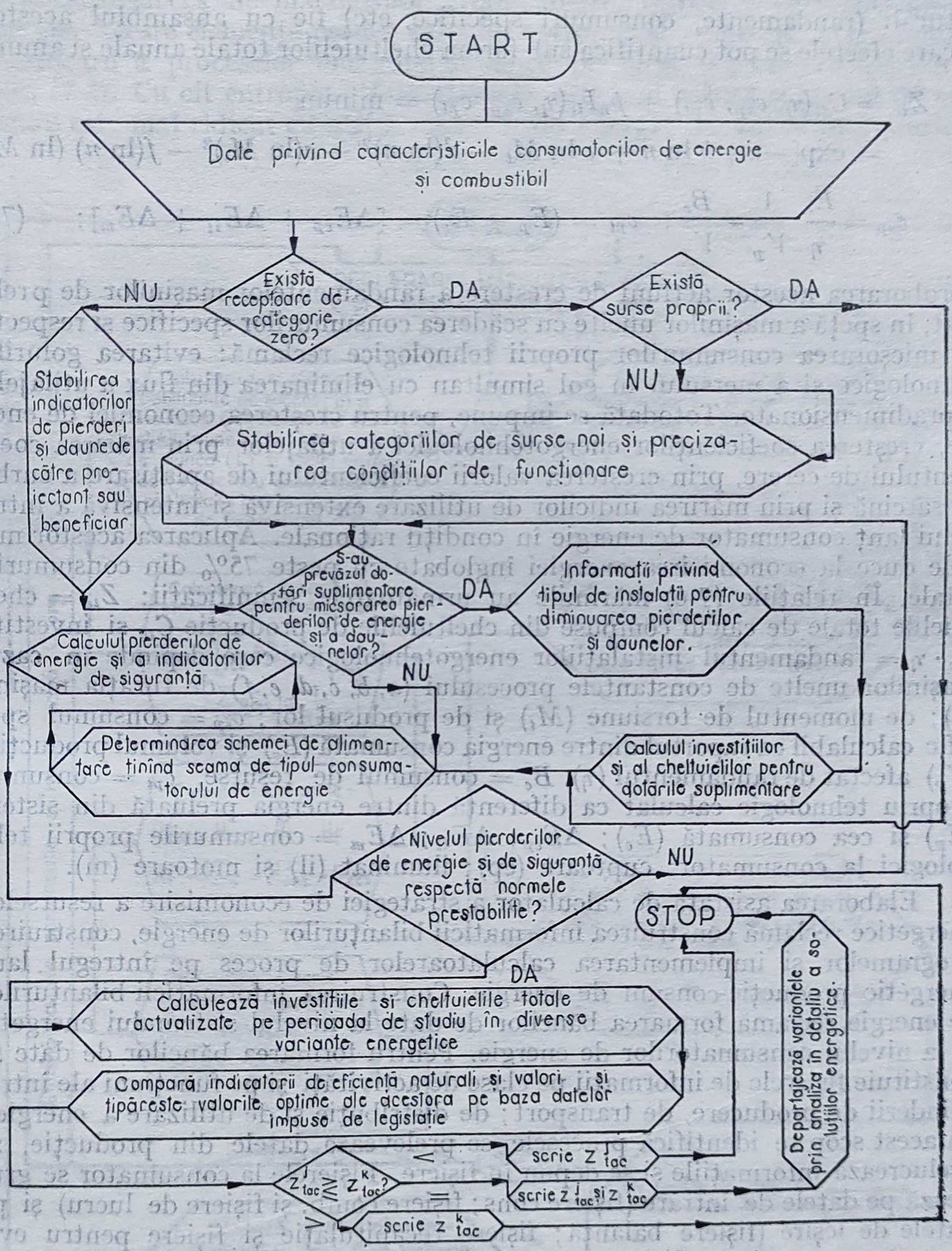


Fig. 7.2.

SCHEMA LOGICĂ PRIVIND ELABORAREA SOLUȚIEI OPTIME DE ALIMENTARE RAȚIONALĂ CU ENERGIE A CONSUMATORILOR.

Modelele energotehnologice privitoare la economisirea energiei la consumator operează fie cu indicatori valorici (costuri), respectiv cu indicatori naturali (randamente, consumuri specifice, etc) fie cu ansamblul acestora la care efectele se pot cuantifica sub forma cheltuielilor totale anuale și anume:

$$Z_{tc} = C_{tc}(\eta, c_{sp}, c_{pt}) + \not{p}_n I_{tc}(\eta, c_{sp}, c_{pt}) = \text{minim}$$

$$= \exp[-a + b \ln n + c \ln M_t - d(\ln n)^2 - e(\ln M_i)^2 - f(\ln n)(\ln M_i)]$$

$$c_{sp} = \frac{E_c}{\eta} \cdot \frac{1}{V_p} \simeq \frac{B_c}{V_p}; \quad c_{pt} = (E_p - E_c) = [\Delta E_{cp} + \Delta E_{il} + \Delta E_m]; \qquad (7\text{-}6)$$

Coroborarea acestor acțiuni de creștere a randamentelor mașinilor de prelucrat, în speță a mașinilor unelte cu scăderea consumurilor specifice și respectiv cu micșorarea consumurilor proprii tehnologice reclamă: evitarea golurilor tehnologice și a mersului în gol simultan cu eliminarea din flux a utilajelor supradimensionate. Totodată se impune, pentru creșterea economiei de energie, creșterea coeficienților energotehnologici a utilajelor prin mărirea coeficientului de cerere, prin creșterea valorii coeficientului de aplatisare a curbei de sarcină și prin mărirea indicilor de utilizare extensivă și intensivă a întregului lanț consumator de energie în condiții raționale. Aplicarea acestor modele duce la economisirea energiei înglobate cu peste 75% din consumurile totale. În relațiile (7-6) mărimile au următoarele semnificații: Z_{tc} = cheltuielile totale de calcul compuse din cheltuielile de producție C_{tc} și investiții $I_{tc} \cdot \eta$ = randamentul instalațiilor energotehnologice care depinde în cazul mașinilor unelte de constantele procesului (a, b, c, d, e, f) de turația mașinii (n); de momentul de torsiune (M_t) și de produsul lor; c_{sp} = consumul specific calculabil ca raportul dintre energia consumată (E_c) și volumul producției (V_p) afectat de randamentul (η). B_c = consumul de resurse. c_{pt} = consumul propriu tehnologic calculat ca diferență dintre energia preluată din sistem (E_p) și cea consumată (E_c); ΔE_{cp}; ΔE_{il}; ΔE_m = consumurile proprii tehnologici la consumator: cuptoare (cp); iluminat (il) și motoare (m).

Elaborarea asistată de calculator a strategiei de economisire a resurselor energetice reclamă construirea informaticii bilanțurilor de energie, construirea programelor și implementarea calculatoarelor de proces pe întregul lanț energetic producție-consum de energie. Construirea informaticii bilanțurilor de energie reclamă formarea băncilor de date la nivelul sistemului energetic și la nivelul consumatorilor de energie. Pentru formarea băncilor de date se constituie fișierele de informații pe clase de activități și pe funcțiuni ale întreprinderii de producere, de transport; de distribuție și de utilizare a energiei. În acest scop se identifică procesele, se prelevează datele din producție, se prelucrează informațiile și se depun în fișiere. Fișierele la consumator se grupează pe datele de intrare (fișiere cons; fișiere comb. și fișiere de lucru) și pe datele de ieșire (fișiere balanță; fișiere recapitulație și fișiere pentru evidența consumurilor). Fișierele de la nivelul sistemului sînt grupate în banca de date GETIC cu denumirile: fișierul INVIC; fișierul IAVIC; fișierul DEREN; fișierul REPLA și fișierul PUPRIFA. Aceste fișiere formează structura sistemului informatic al ramurii energiei electrice și termice (SIREET). Fișierele se organizează pe tipuri de întreprinderi și nivele de tensiuni. Pe

baza cantității de informații se determină perturbațiile și probabilitățile de succes și insucces ale instalațiilor producătoare, respectiv consumatoare de energie. Aceste elemente permit calculul entropiei și respectiv a gradului de organizare a proceselor energotehnologice pe baza schemei logice din figura (7-3). Cu cît entropia informațională este mai redusă și gradul de organizare este mai ridicat cu atît economiile de energie au valori mai mari.

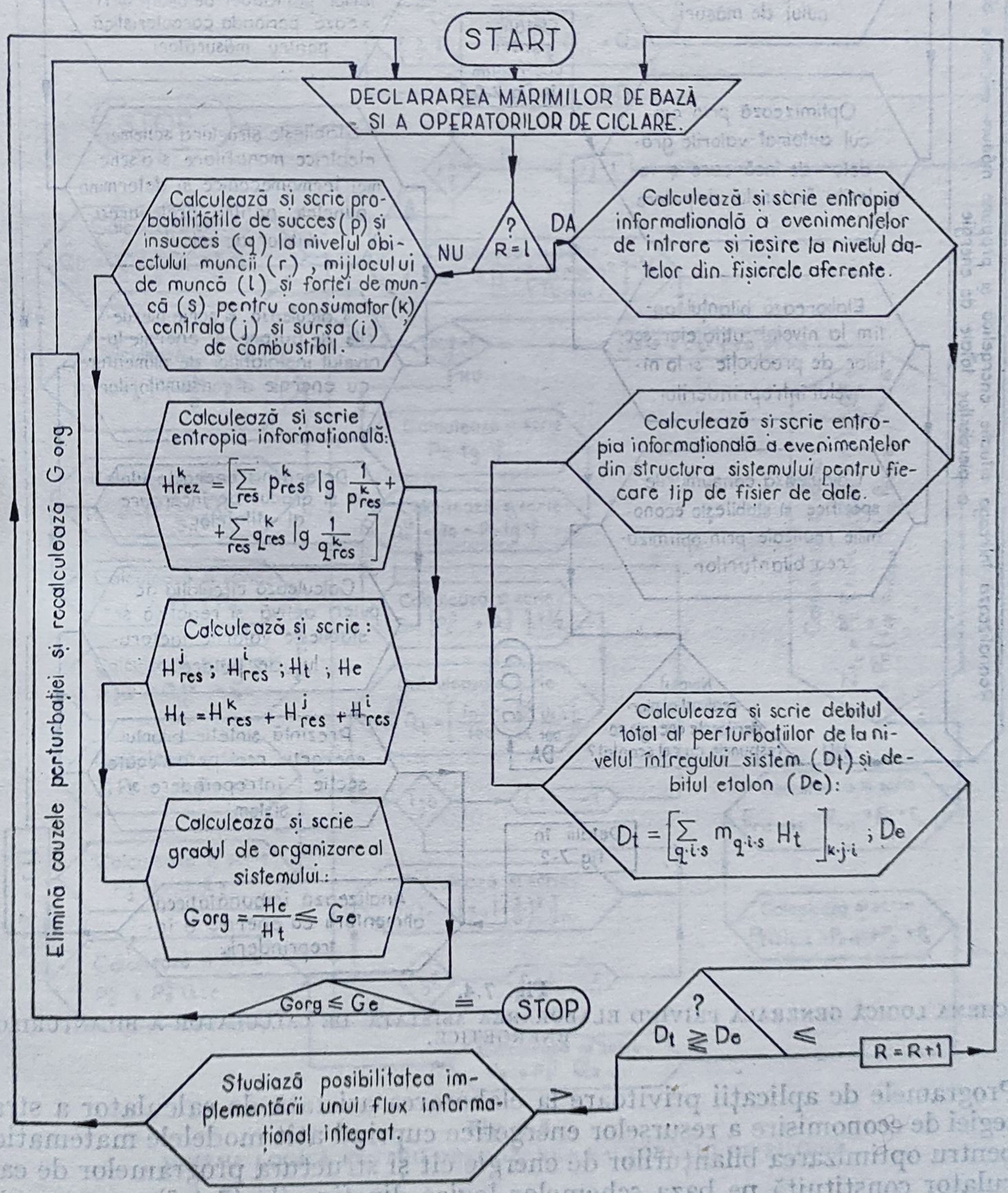


Fig. 7.3.

SCHEMA LOGICĂ DE CALCUL A DEBITULUI DE PERTURBAȚII ȘI A GRADULUI DE ORGANIZARE PE BAZA CONCEPTULUI DE ENTROPIE INFORMAȚIONALĂ.

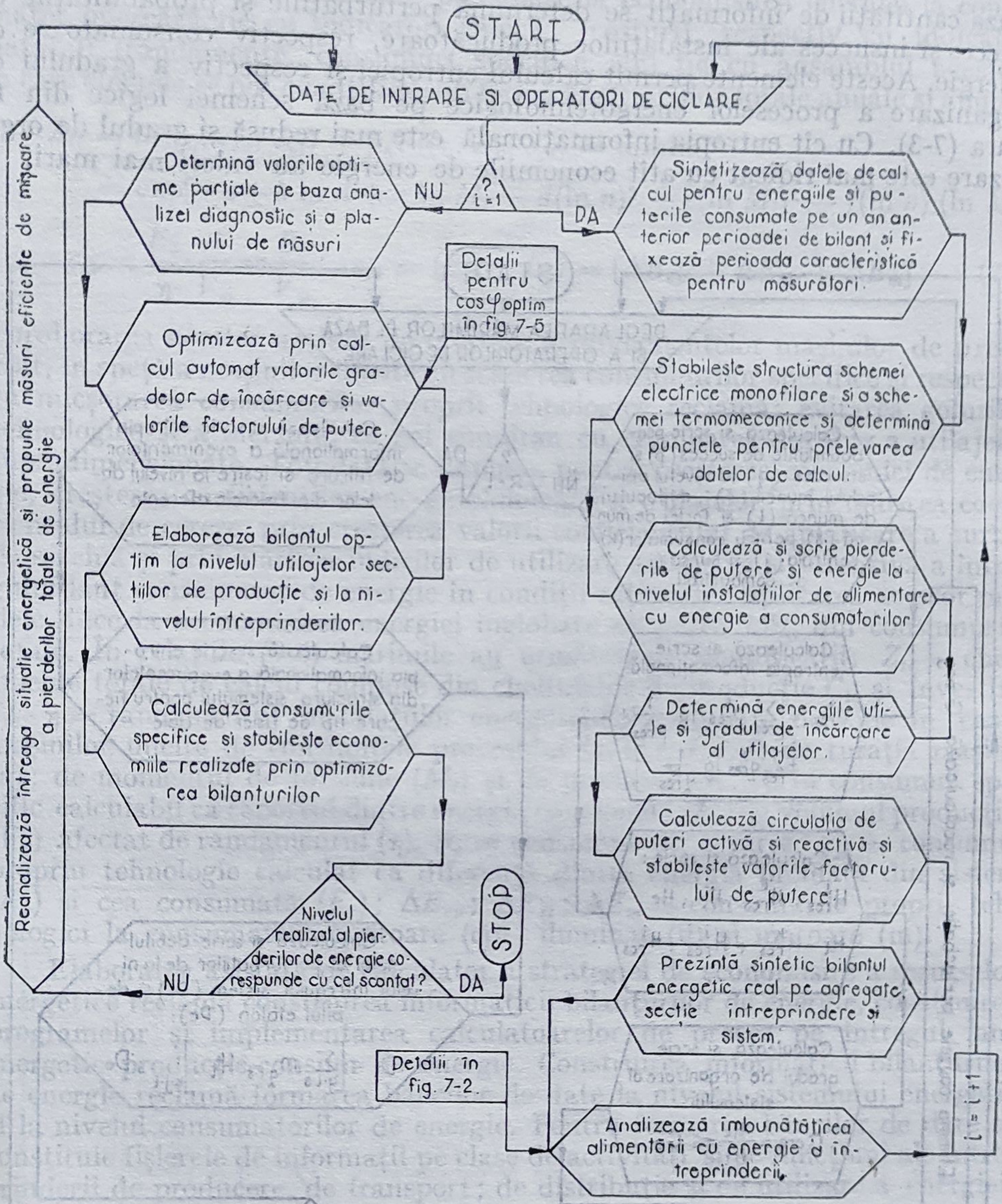


Fig. 7.4.

SCHEMA LOGICĂ GENERALĂ PRIVIND ELABORAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A BILANȚURILOR ENERGETICE.

Programele de aplicații privitoare la elaborarea asistată de calculator a strategiei de economisire a resurselor energetice cuprind atît modelele matematice pentru optimizarea bilanțurilor de energie cît și structura programelor de calculator constituită pe baza schemelor logice din figurile (7.4-5).

Schema din figura (7.4) cuprinde fazele de lucru pentru elaborarea asistată de calculator în condiții de optimizare a factorului de putere (figura 7.5).

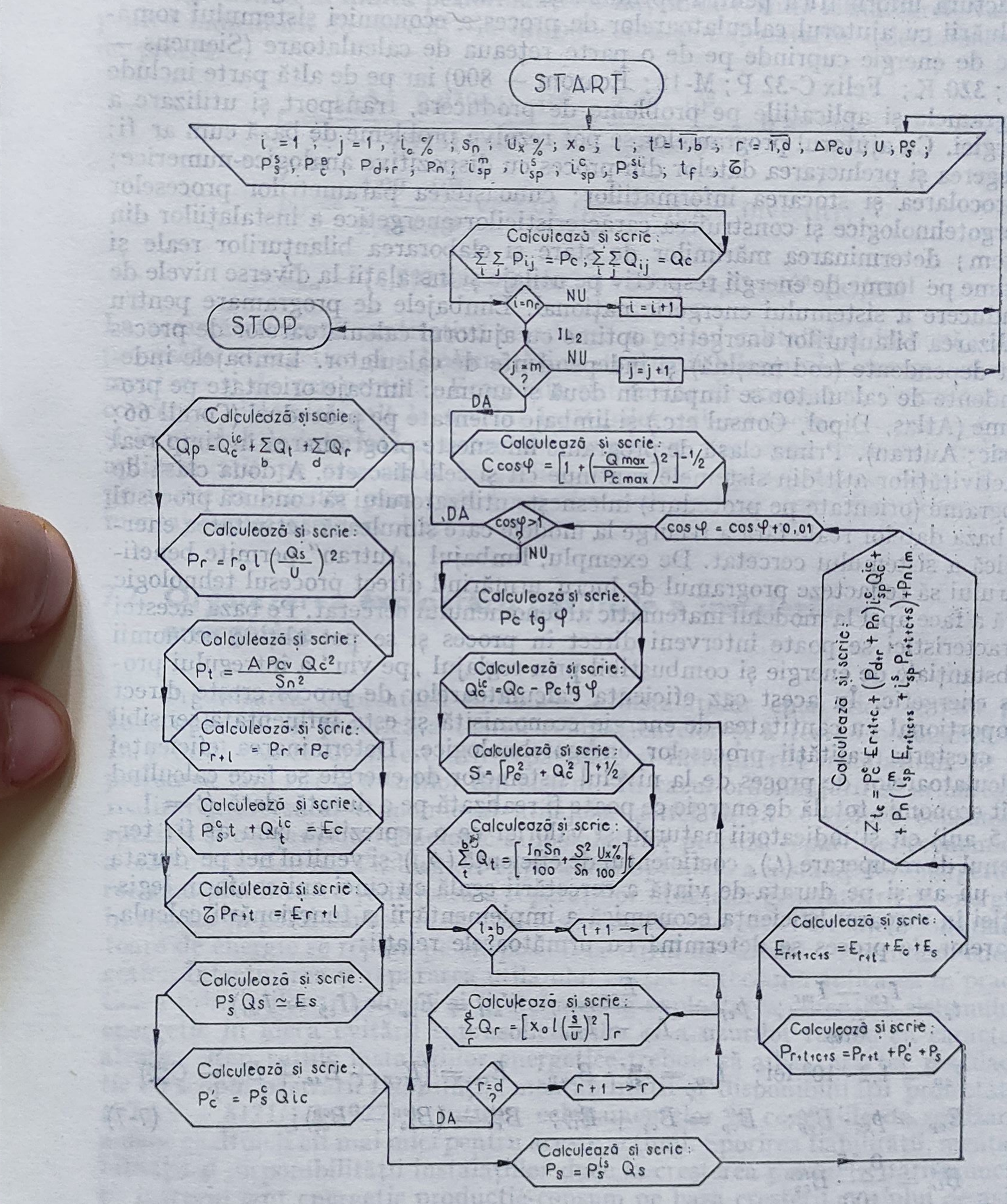


Fig. 7.5.

SCHEMA LOGICĂ PENTRU OPTIMIZAREA FACTORULUI DE PUTERE.

Structura informatică pentru optimizarea bilanțurilor de energie în vederea evaluării cu ajutorul calculatoarelor de proces a economiei sistemului românesc de energie cuprinde pe de o parte rețeaua de calculatoare (Siemens — 330; 320 K; Felix C-32 P; M-18; Ecarom — 800) iar pe de altă parte include programele și aplicațiile pe probleme de producere, transport și utilizare a energiei. Cu ajutorul programelor se pot rezolva probleme de bază cum ar fi: culegerea și prelucrarea datelor din proces cu dispozitive analogice-numerice; protocolarea și stocarea informațiilor; cunoașterea parametrilor proceselor energotehnologice și construirea caracteristicilor energetice a instalațiilor din sistem; determinarea mărimilor de stare și elaborarea bilanțurilor reale și optime pe forme de energii respectiv pe utilaje și instalații la diverse nivele de conducere a sistemului energetic național. Limbajele de programare pentru realizarea bilanțurilor energetice optime cu ajutorul calculatoarelor de proces sînt dependente (cod mașină) și independente de calculator. Limbajele independente de calculator se împart în două și anume: limbaje orientate pe probleme (Atlas, Dipol, Consul etc.) și limbaje orientate pe proceduri (Corall 66; Basic; Autran). Prima clasă de programe înlesnește programarea în timp real a activităților atît din sistemele continue cît și cele discrete. A doua clasă de programe (orientate pe proceduri) înlesnește utilizatorului să conducă procesul pe baza datelor reale fără a recurge la modele care simulează activitatea energetică a sistemului cercetat. De exemplu, limbajul „Autran" permite beneficiarului să redacteze programul de lucru, urmărind direct procesul tehnologic fără a face apel la modelul matematic al fenomenului cercetat. Pe baza acestei caracteristici se poate interveni direct în proces și se pot obține economii substanțiale de energie și combustibil prin reglajul „pe viu" a întregului proces energetic. În acest caz eficiența calculatoarelor de proces crește direct proporțional cu cantitatea de energie economisită și este influențată sensibil de creșterea calității proceselor energotehnologice. Determinarea eficienței calculatoarelor de proces de la nivelul sistemelor de energie se face calculînd atît economia totală de energie ce poate fi realizată pe o durată dată ($t = 1 \ldots$ ... 5 ani) cît și indicatorii naturali și valorici ce o reprezintă cum ar fi: termenul de recuperare (t_r), coeficientul de eficiență ($\not p_{ef}$) și venitul net pe durata de un an și pe durata de viață a cercetării egală cu cinci ani conform legislației în vigoare. Eficiența economică a implementării și funcționării calculatoarelor de proces se determină cu următoarele relații:

$$t_r = \frac{I_{cp} - I_{mr}}{E_{cv9}}; \quad \not p_{ef} = \frac{E_{cv}}{I_{cp} - I_{mr}}; \quad V_{net} = E_{cv} - (I_{cp} - I_{mr})$$

$$I_{cp} = 1{,}2 \cdot 10^9 \text{ lei}; \quad I_{mr} = \not{i}_{sp}^{mr} \cdot B_{sup}; \quad E_{cv} = (E_{cp} + E_{se} + E_{ce} - C_{om}^{cse})$$

$$E_{cp} = \not p_{cc} \cdot B_{cp}^{ec}; \quad B_{cp}^{ec} = B_{cz}^{ec} + B_{tr}^{ec}; \quad B_{cz}^{ec} = (B_{cz}^{fcp} - B_{cz}^{cp}); \qquad (7\text{-}7)$$

$$B_{tr}^{ec} = \frac{0{,}35}{100} B_{cz}^{fcp}$$

Pentru un sistem de energie compus din (10) centrale echipate cu grupuri de (50 ... 100 ... 300) MW și cazane de (420 ... 1035) tabur/h la o durată de funcționare de (4000 ... 7000) ore/an, consumurile specifice și cele proprii

tehnologice fiind la limita performanţelor naţionale rezultă următoarele valori pentru indicatorii de eficienţă la introducerea şi exploatarea calculatoarelor de proces

$$t_r = \frac{(2{,}5 - 0{,}03963) \cdot 10^9}{4{,}9931 \cdot 10^9} = \frac{2{,}46 \cdot 10^9}{4{,}99 \cdot 10^9} = 0{,}49 \text{ ani}; \qquad (7\text{-}8)$$

$$p_{ef} = \frac{4{,}99 \cdot 10^9}{2{,}46 \cdot 10^9} = 2{,}02 \text{ (lei venit/leu investit)};$$

$$V_{net} = (4{,}99250 - 2{,}46037) \cdot 10^9 = 2{,}53 \cdot 10^9 \text{ (lei/an)}$$

La această eficienţă cantitativă se adaugă aspectul calitativ al îmbunătăţirii proceselor energetice şi a îmbunătăţirii structurii bilanţurilor energetice momentane şi de perspectivă. Economia sistemelor de energie se determină în concepţie sistemică atît la nivelul legăturilor subsistemelor componente cît şi la nivelul de interfaţă a sistemului de mediu. Concepţia sistemică trebuie aplicată atît pe orizontală lanţurilor energetice (producţie-consum) cît şi pe verticala stărilor prin care trece sistemul analizat (cercetare-proiectare-montaj-exploatare-dezvoltare).

7.2. Organizarea exploatării optimale a instalaţiilor energetice

Organizarea exploatării optimale a instalaţiilor energetice se face pe baza aplicării în practică a teoriei echipamentelor şi a teoriei ordonanţării. În primul caz se urmăresc atît reparaţiile şi întreţinerile instalaţiilor cît şi preluarea fără risc a avariilor din sistem. În cazul ordonanţării se urmăreşte realizarea mersului economic al utilajelor astfel ca să se reducă consumul specific şi cel propriu tehnologic al instalaţiilor pe baza repartiţiei economice a sarcinii în sistem. Problemele exploatării optimale a instalaţiilor energetice reclamă planificarea judicioasă a reparaţiilor utilajelor generatoare de energie în special în golul curbei de sarcină a sistemului energetic. Utilajele consumatoare de energie se repară pe cît posibil la vîrful de sarcină a sistemului energetic. Întreţinerea şi repararea utilajului energetic reclamă aplicarea în practică a principiilor tribologiei şi tiotehnicii în exploatarea curentă a sistemului energetic în ideea evitării suprasolicitărilor şi a uzurilor rapide cu caracter aleator. Reparaţiile instalaţiilor energetice trebuie să aibă caracter profilactic cu scopul păstrării fiabilităţii, mentabilităţii şi disponibilităţii proiectate (STAS — 8171/1-2-1977) a tuturor echipamentelor în condiţiile de realizare a unor cheltuieli cît mai mici pentru aceste acţiuni. Sporirea fiabilităţii, mentabilităţii şi disponibilităţii instalaţiilor duce la creşterea productivităţii muncii pe întregul lanţ energetic producţie-consum pe baza creşterii gradului de asigurare cu energie a consumatorilor şi prin micşorarea cantităţii de resurse energetice înglobate în produsele realizate. Preluarea avariilor în condiţii optimale duce la micşorarea cheltuielilor reclamate de pagube şi diminuează riscul economic şi tehnologic de la nivelul întregului sistem.

Aplicarea teoriei echipamentelor la elaborarea și realizarea planurilor de reparare și întreținere a agregatelor din cadrul unei întreprinderi de electrocentrale reclamă respectarea următoarelor proceduri: calcularea treptelor de putere instalată (P_i), disponibilă (P_d) și utilizabilă (P_u) la nivelul fiecărei centrale. Pe baza acestor date se întocmesc graficele de variație ale puterilor pe durata unui an; trasarea graficelor de variație ale puterilor instalate, disponibile și utilizabile la nivelul subsistemului considerat și construirea curbei de consum; construirea curbelor clasate ale puterilor instalate, disponibile și utilizabile la nivelul subsistemului analizat; calcularea puterilor medii instalate, disponibile și utilizabile; determinarea rezervei de putere care se cere la vîrful sistemului și stabilirea reducerilor de putere datorită uzurilor, strangulărilor și reparațiilor. Pentru ilustrarea modului în care se poate planifica într-un an repararea unor utilaje energetice așa fel încît să nu apară întreruperi în alimentarea consumatorilor de energie se face următorul exemplu de calcul: se consideră trei centrale electrice cu următoarele puteri instalate:

$$P_{i_1} = 3\times 25 = 75 \text{ MW}; \quad P_{i_2} = 3\times 20 = 60 \text{ MW}; \quad P_{i_3} = 2\times 12 = 36 \text{ MW}$$

Prima centrală va fi dezvoltată pînă la $P_i = 100$ MW cu un grup de 25 MW instalat la 1 septembrie al anului de plan. Strangulările și uzurile micșorează puterea instalată a centralelor la nivelul puterilor disponibile după cum urmează: $P_{d_1} = 70$ MW de la 1 ianuarie la 1 aprilie după care $P_{d_1} = 75$ MW pînă la 1 septembrie, apoi $P_{d_1} = 100$ MW pînă la sfîrșitul anului; $P_{d_2} = 55$ MW de la 1 ianuarie la 1 mai, cînd se defectează un grup de 20 MW și rămîne neutilizat pînă la sfîrșitul anului; $P_{d_3} = 36$ MW de la 1 ianuarie la 1 iulie cînd se demontează un grup de 12 MW și capătă o altă întrebuințare. Planul de reparare a grupurilor care trebuie verificate pe baza calculației ce urmează arată astfel: la centrala (1) cele trei grupuri se planifică în lunile aprilie, iunie și iulie; la centrala (2) un grup se repară în mai, iar celălalt grup în august; la centrala (3) se propune repararea grupurilor în martie, septembrie și octombrie. Energia produsă la vîrful maxim de cele trei centrale electrice este de 1 151 500 MWh. În vederea verificării dacă planul de reparații propus este adecvat alimentării fără întrerupere a consumatorilor de energie, se trasează graficele curbelor de variație ale puterilor instalate (P_i), puterile disponibile (P_d) și utilizabile (P_u) la nivelul centralelor fig. (7.6) și la nivelul întreprinderii de electrocentrale fig. (7.7), apoi se construiesc graficele puterilor clasate la nivelul sistemului fig. (7.8). O primă verificare a consistenței planului de reparație propus se face pe baza înfășurătoarei vîrfurilor puterilor utilizabile. Dacă înfășurătoarea este depășită de vîrfurile puterilor utilizabile aceasta arată că puterea utilizabilă nu este suficientă pentru acoperirea necesarului de putere cerut la consumator.

A doua verificare a consistenței planului de reparații se face pe baza calculării rezervei de putere la vîrful sistemului și compararea acesteia cu nivelul de rezervă impus de prescripții. Rezerva de putere la vîrful sistemului (P_r^v) se calculează astfel:

$$P_r^v = (P_{um}^v - P_{vm}^v) \tag{7-9}$$

în care: P_{um}^v; P_{vm}^v = puterea efectiv utilizabilă medie (P_{um}^v) și puterea produsă medie (P_{vm}^v) la vîrful sistemului.

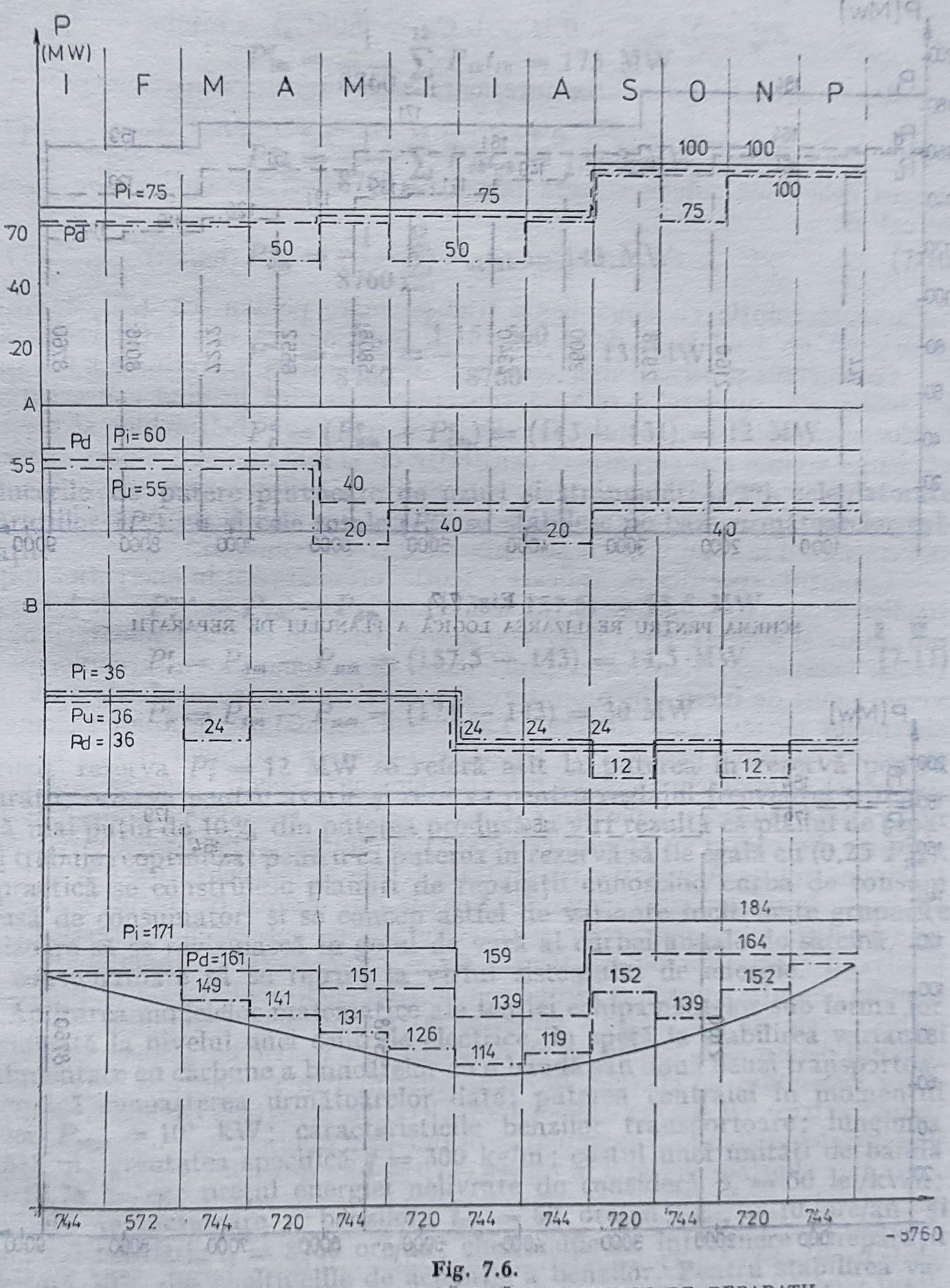
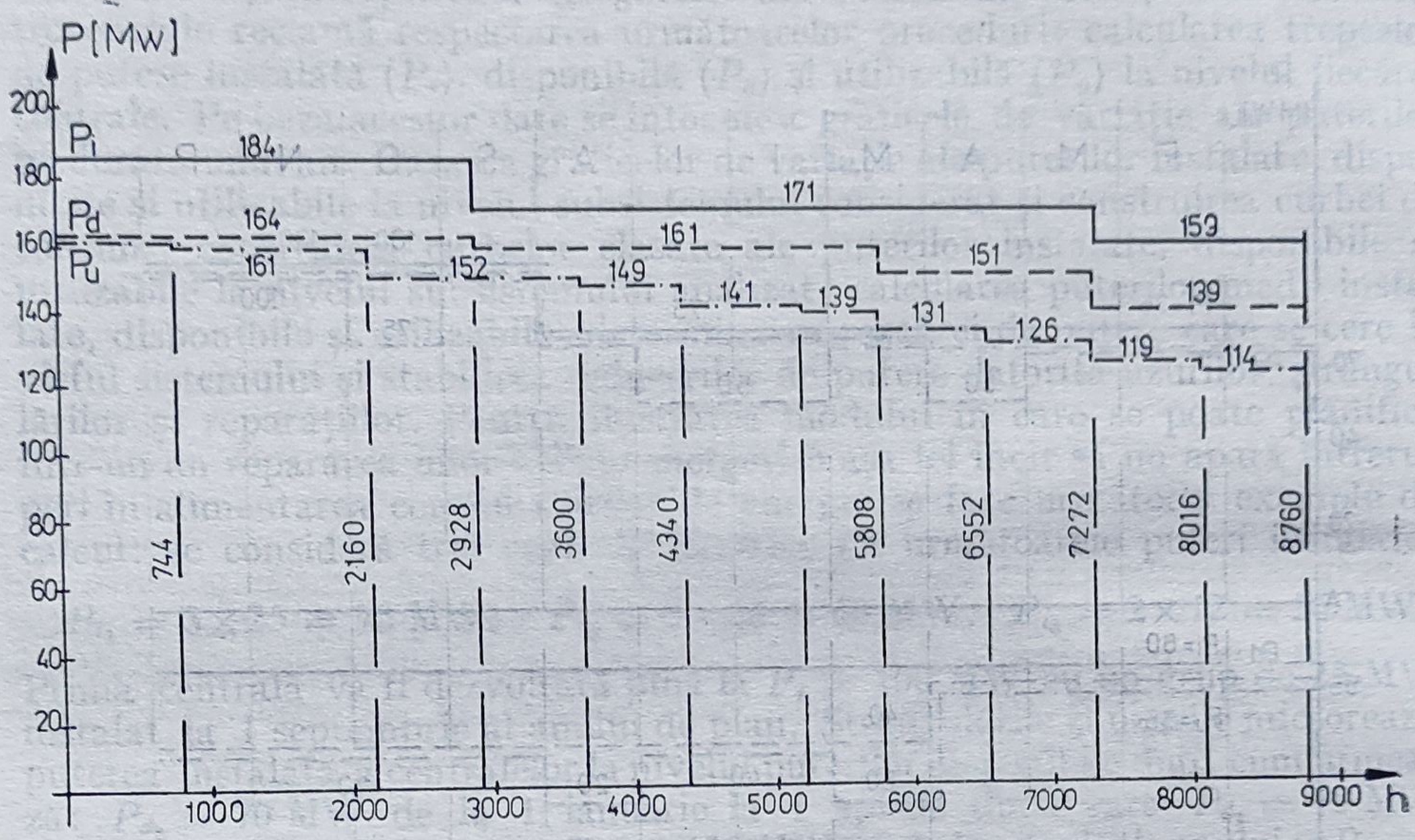


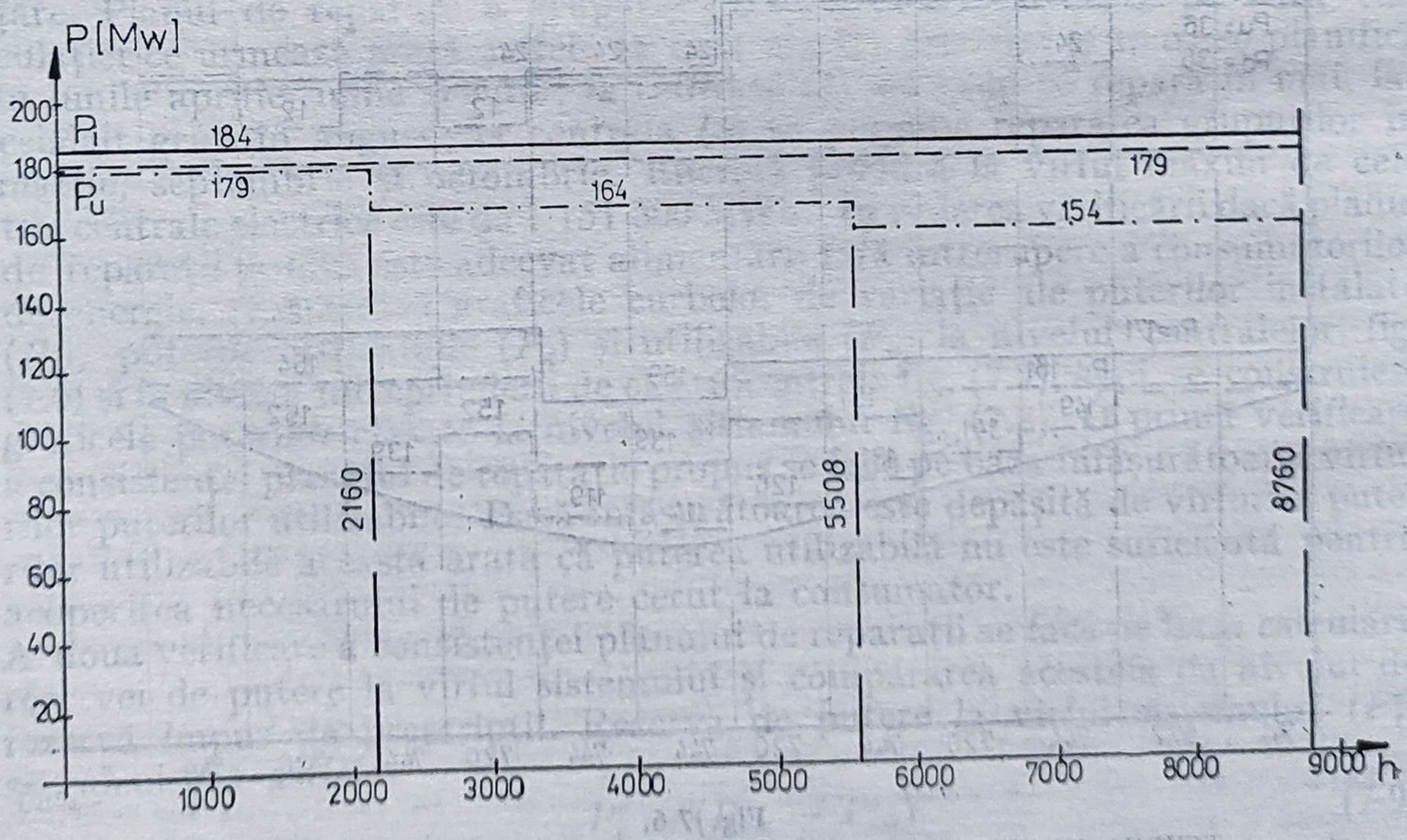
Fig. 7.6.

SCHEMA PENTRU REALIZAREA LOGICĂ A PLANULUI DE REPARAȚII



Eig. 7.7.

SCHEMA PENTRU REALIZAREA LOGICĂ A PLANULUI DE REPARAŢII



Eig. 7.8.

SCHEMA PENTRU REALIZAREA LOGICĂ A PLANULUI DE REPARAŢII

Puterile instalate, disponibile și utilizabile medii și rezerva de putere (P_r) se calculează astfel:

$$P^v_{im} = \frac{1}{8760}\sum_{k=1}^{12} P_{ik}t_{ik} = 173 \text{ MW}$$

$$P^v_{dm} = \frac{1}{8760}\sum_{k=1}^{12} P_{dk}t_{dk} = 157{,}5 \text{ MW}$$

$$P^v_{um} = \frac{1}{8760}\sum_{k=1}^{12} P_{uk}t_{uk} = 143 \text{ MW} \qquad (7\text{-}10)$$

$$P^v_{pm} = \frac{E_p}{8760} = \frac{1\,151\,500}{8760} = 131 \text{ MW}$$

$$P^v_r = (P^v_{um} - P^v_{pm}) = (143 - 131) = 12 \text{ MW}$$

Reducerile de putere provocate de uzuri și strangulări (P^{uzs}_r), cele datorate reparațiilor (P^r_r) cît și cele totale (P^t_r) se stabilesc pe baza următoarelor calculații:

$$P^{uzs}_r = P_{im} - P_{dm} = (173 - 157{,}5) = 15{,}5 \text{ MW}$$

$$P^r_r = P_{dm} - P_{um} = (157{,}5 - 143) = 14{,}5 \text{ MW} \qquad (7\text{-}11)$$

$$P^t_r = P_{im} - P_{um} = (174 - 143) = 30 \text{ MW}$$

Întrucît rezerva $P^v_r = 12$ MW se referă atît la puterea în rezervă pentru reparații, rezerva pentru avarie și rezerva pentru reglajul frecvenței și reprezintă mai puțin de 10% din puterea produsă la vîrf rezultă că planul de reparații trebuie reoptimizat pentru ca puterea în rezervă să fie egală cu ($0{,}25\ P^v_{pm}$). În practică se construiesc planuri de reparații cunoscînd curba de consum impusă de consumatori și se concep astfel de variante încît toate grupurile furnizoare să se revizuiască în golul de vară al curbei anuale de sarcină, iar cele consumatoare să se repare la vîrful sistemului de energie.

Aplicarea modelelor matematice ale teoriei echipamentelor sub forma lor simplificată la nivelul unei centrale electrice, în speță la stabilirea variantei de alimentare cu cărbune a buncărelor cu o bandă sau două benzi transportoare implică cunoașterea următoarelor date: puterea centralei în momentul avariei $P_{mav} = 10^3$ kW; caracteristicile benzilor transportoare; lungimea $l = 515$ m; greutatea specifică $g = 300$ kg/m; costul unei unități de bandă $c_m = 18{,}76$ lei/kg; prețul energiei nelivrate de consideră $p_o = 50$ lei/kWh; timpii de nefuncționare a benzilor; $t_{av_1} = 60$ ore/an; $t_{av_2} = 10$ ore/an și timpul calendaristic $t_c = 8760$ ore/an; cheltuielile de întreținere și reparații reprezintă 10% din cheltuielile de achiziție a benzilor. Pentru stabilirea variantei optime de alimentare cu combustibil a centralei electrice se determină cheltuielile de achiziție a benzilor, cheltuielile de întreținere și reparații, cît și cheltuielile cu energia nelivrată considerînd că utilajele furnizoare și consu-

matoare de energie au fost distruse în timpul întreruperii alimentării. Relațiile de calcul se pot scrie sub următoarea formă:

$$Z_{ep}^{pr} = \sum_i n_i c_i + 0{,}1C_{ai} + C_{av} + 0{,}06I_{ep}) = \text{minim} \qquad (7\text{-}12)$$

Calculînd mărimile din relația anterioară se obține următoarea expresie:

$$Z_{ep}^{pr} = (b \cdot g \cdot c + 0{,}1 \cdot C_{ai} + t_{av} P_{mav} p_c^{(n} + 0{,}06 I_{ep}) \qquad (7\text{-}13)$$

Pentru cele două soluții rezultă următoarele valori ale cheltuielilor anuale de calcul:

$$Z_{ep_1}^{pr} = 8{,}1 \cdot 10^6 \text{ (lei/an)}; \quad Z_{ep_2}^{pr} = 7{,}2 \cdot 10^6 \text{ (lei/an)} \qquad (7\text{-}14)$$

Se acceptă soluția cu două benzi transportoare pentru că $(Z_{ep_2}^{pr} < Z_{ep_1}^{pr})$ și se asigură un grad înalt de siguranță în funcționarea instalațiilor.

Conducerea și organizarea lucrărilor de reparare și întreținere a utilajului în teoria echipamentelor reflectă concepția sistemică privind conservarea și exploatarea optimă a instalațiilor în ideea reducerii cheltuielilor și creșterii eficienței muncii atît sub aspect cantitativ cît și mai ales sub aspect calitativ. O strategie optimală de exploatare și reînnoire a utilajului înlesnește lungirea duratei de viață a instalațiilor și permite sporirea beneficiului, atît la nivelul întreprinderii sau ramurii, cît și la nivelul întregii economii.

Condițiile specifice de aplicare a teoriei ordonanțării în energetică impun studierea repartiției optime a sarcinilor, atît la nivelul punctelor de lucru din proiectare și montaj, cît și la nivelul agregatelor din cadrul exploatării obiectivelor energetice. Rezolvarea problemelor de ordonanțare a sarcinilor pe diverse locuri de lucru din proiectare și montaj se face cu modelele aplicabile sistemelor cu structură discretă. La nivelul exploatării întîlnim sisteme cu structuri continue pentru care repartiția optimă a sarcinilor (RES) îmbracă din punct de vedere matematic următoarele două aspecte: programarea matematică statică pentru repartiția sarcinilor active și reactive pe centrale termoelectrice din cadrul sistemului cercetat; calculul variațional pentru repartiția sarcinilor active și reactive pe centrale termo și hidroelectrice din sistemul analizat. În primul caz funcția de eficiență este o sumă de costuri ocazionate de repartiția sarcinilor active și reactive atît pe agregatele energetice cît și la nivelul centralelor pentru fiecare regim caracteristic de funcționare a sistemului. Soluția optimă se obține minimizînd cheltuielile totale de producție, inclusiv cele de circulație a puterilor între centralele sistemului. Extremul (minim) determinat trebuie să fie compatibil cu restricțiile impuse de funcționarea sistemului de energie. În cazul existenței în sistem, atît a centralelor termoelectrice, cît și a centralelor hidroelectrice, repartiția optimă a sarcinilor pe centralele sistemului examinat se obține prin minimizarea valorii unei integrale care cuprinde variația în timp a cheltuielilor de ordonanțare ținînd seama de corelarea producției de energie cu volumul de apă consumat și cu alte tipuri de restricții impuse de regimul hidraulic al amenajării hidroenergetice. În ambele situații problema determinării exploatării optime se realizează cu ajutorul modelelor matematice generale ale ordonanțării producției de energie.

Pentru determinarea repartiției sarcinilor la nivelul unui microsistem format din 5 centrale electrice se consideră configurația din figura (7.9).

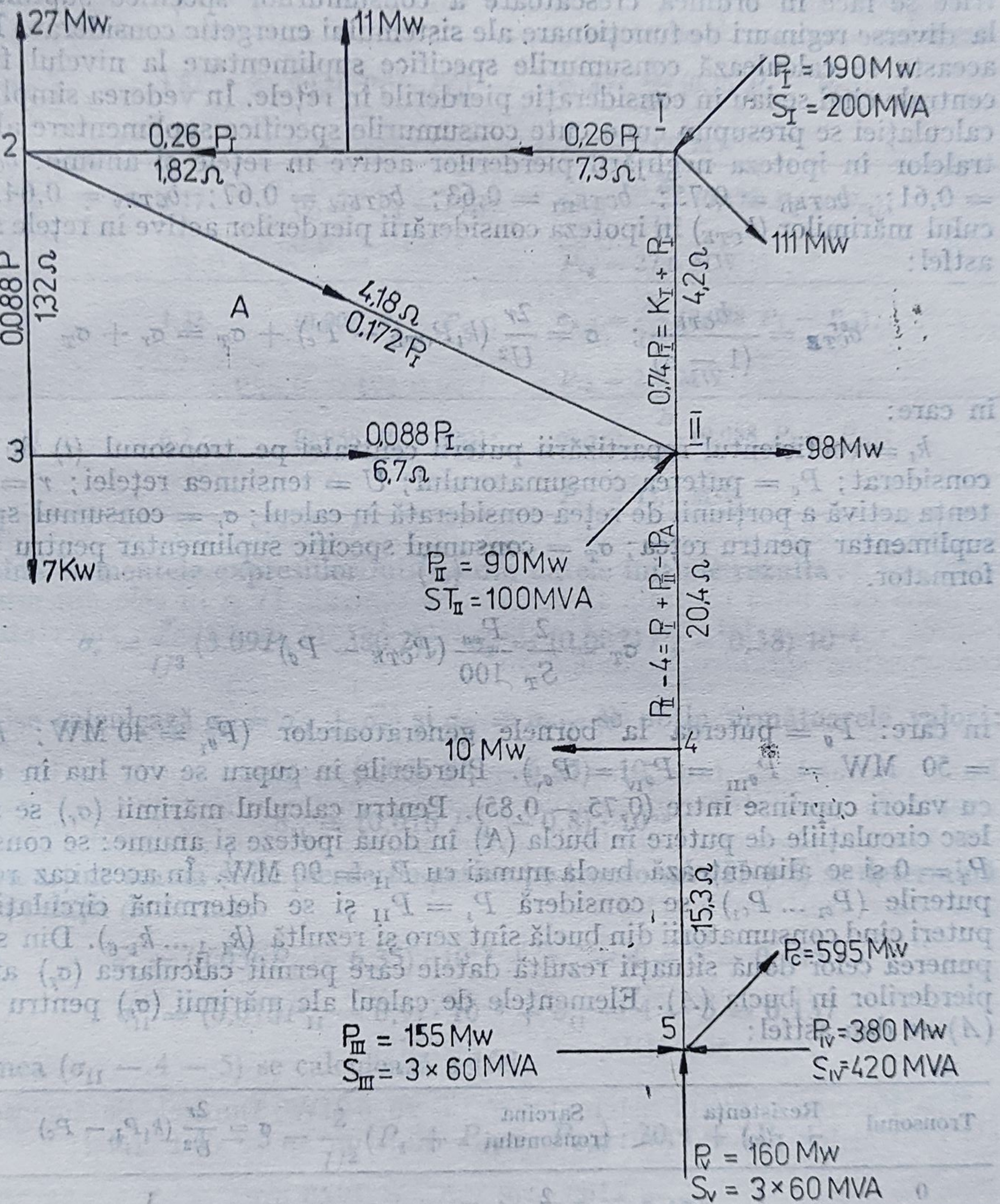


Fig. 7.9.

SCHEMĂ PENTRU STUDIUL REPARTIȚIEI OPTIME.

Pentru fiecare centrală electrică se dau puterile transformatoarelor la care se pot determina pierderile de mers în gol și pierderile de scurtcircuit. Tensiunea rețelei U = 110 kV. Lungimea liniei între punctele extreme ale sistemului este de 140 km. Puterea cerută în bucla (A) este $P_A = 254$ MW. Secțiunea conductoarelor liniilor electrice este de 120 mm² OL-AL. P_c = puterea cerută la consumator la ora de vîrf a sistemului egală cu 750 MW, fără a considera pierderile în rețele. Repartiția sarcinilor electrice pe cele cinci centrale elec-

trice se face în ordinea crescătoare a consumurilor specifice suplimentare la diverse regimuri de funcționare ale sistemului energetic considerat. Pentru aceasta se calculează consumurile specifice suplimentare la nivelul fiecărei centrale cînd se iau în considerație pierderile în rețele. În vederea simplificării calculației se presupun cunoscute consumurile specifice suplimentare ale centralelor în ipoteza neglijării pierderilor active în rețele și anume: $b_{CTE_I} = 0{,}61$; $b_{CTE_{II}} = 0{,}75$; $b_{CTE_{III}} = 0{,}63$; $b_{CTE_{IV}} = 0{,}67$; $b_{CTE_V} = 0{,}64$. Calculul mărimilor (b_{CTE}) în ipoteza considerării pierderilor active în rețele se face astfel:

$$b^{cr}_{CTE} = \frac{b_{CTE}}{(1-\sigma)}; \quad \sigma = \frac{2r}{U^2}(k_t P_{CTE} - P_c) + \sigma_T = \sigma_r + \sigma_T \tag{7-15}$$

în care:

k_t = coeficientul repartizării puterii centralei pe tronsonul (t) de rețea considerat; P_c = puterea consumatorului; U = tensiunea rețelei; r = rezistența activă a porțiunii de rețea considerată în calcul; σ_r = consumul specific suplimentar pentru rețea; σ_T = consumul specific suplimentar pentru transformator.

$$\sigma_T = \frac{2}{S_T}\frac{P_{cu}}{100}(P_{CTE} - P_g) \tag{7-16}$$

în care: P_g = puterea la bornele generatoarelor ($P_{g_I} = 40$ MW; $P_{g_{II}} = 50$ MW $= P_{g_{III}} = P_{g_{IV}} = P_{g_V}$). Pierderile în cupru se vor lua în calcul cu valori cuprinse între (0,75 — 0,85). Pentru calculul mărimii (σ_r) se stabilesc circulațiile de putere în bucla (A) în două ipoteze și anume: se consideră $P_I = 0$ și se alimentează bucla numai cu $P_{II} = 90$ MW. În acest caz rezultă puterile ($P_{c_1} \dots P_{c_1}$); se consideră $P_1 = P_{II}$ și se determină circulația de puteri cînd consumatorii din buclă sînt zero și rezultă ($k_{I-1} \dots k_{I-6}$). Din suprapunerea celor două situații rezultă datele care permit calcularea (σ_r) aferent pierderilor în bucla (A). Elementele de calcul ale mărimii (σ_r) pentru bucla (A) se dau astfel:

Tronsonul	Rezistența r(ω)	Sarcina tronsonului	$\sigma = \frac{2r}{U^2}(k_I P_I - P_c)$
0	1	2	3
I — II	4,2	$(0{,}74\ P_I - P_{c_1})$; $P_{c_1} = 90$ MW	$\sigma_{I\text{-}II} = \frac{2r}{U^2}(0{,}74\ P_I - P_{c_2})$
I — 1	7,3	$(0{,}26\ P_I - P_{c_2})$; $P_{c_2} = 39$ MW	$\sigma_{I\text{-}1} = \frac{2r}{U^2}(0{,}26\ P_I - P_{c_2})$;

0	1	2	3
1 – 2	1,82	$(0{,}26\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_3})$;	$\sigma_{1-2} = \frac{2r}{U^2}(0{,}26\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_3})$; $P_{c_3} = 14{,}9$ MW
2 – II	4,17	$(0{,}172\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_4})$;	$\sigma_{2-\mathrm{II}} = \frac{2r}{U^2}(0{,}172\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_4})$; $P_{c_4} = 27{,}6$ MW
2 – 3	1,32	$(0{,}008\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_5})$;	$\sigma_{2-3} = \frac{2r}{U^2}(0{,}088\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_5})$; $P_{c_5} = 2{,}3$ MW
3 – II	6,7	$(0{,}088\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_5})$;	$\sigma_{3-\mathrm{II}} = \frac{2r}{U^2}(0{,}088\ P_{\mathrm{I}} - P_{c_4})$; $P_{c_4} = 15{,}9$ MW

Adunînd elementele expresiilor lui (σ_r) din datele inițiale rezultă:

$$\sigma_r = \frac{r}{U^2}(3.09P_{\mathrm{I}} - 380{,}2); \quad \sigma_T = (0{,}0071P_{\mathrm{I}} - 0{,}38)\cdot 10^{-2}$$

Dacă se calculează $\sigma_{\mathrm{I}} = \sigma_{r\mathrm{I}} + \sigma_{T\mathrm{I}}$ și $\sigma_{\mathrm{II}} = \sigma_{T\mathrm{II}}$, se obțin următoarele valori:

$$\sigma_{\mathrm{I}} = (0{,}056\ P_{\mathrm{I}} - 6{,}35)\cdot 10^{-2};$$

$$\sigma_{\mathrm{II}} = (0{,}016\ P_{\mathrm{II}} - 0{,}8)\cdot 10^{-2};$$

Pentru a ține seama și de pierderile active pe tronsonul (II-4-5) se determină (σ) cu relații de forma:

$$\sigma'_{\mathrm{I}} = (0{,}056P_{\mathrm{I}} - 6{,}35)\cdot 10^{-2} + \sigma_{\mathrm{II}} - 4 - 5 = 0{,}145$$

$$\sigma'_{\mathrm{II}} = (0{,}016P_{\mathrm{II}} - 0{,}9)\cdot 10^{-2} + \sigma_{\mathrm{II}} - 4 - 5 = 0{,}137$$

Mărimea ($\sigma_{\mathrm{II}} - 4 - 5$) se calculează astfel:

$$\sigma_{\mathrm{II}-4-5} = \frac{2}{U^2}(P_{\mathrm{I}} + P_{\mathrm{II}} - P_{cA})\cdot 20{,}4 + (P_{\mathrm{I}} + P_{\mathrm{II}} - P_{cA} - P_{c4})\cdot 15{,}9 = 0{,}158$$

în care: $P_{c\mathrm{I}} + P_{c\mathrm{II}} = 270$ MW; $P_{cA} = 254$ MW; $P_{c4} = 10$ MW.

Consumurile specifice suplimentare pentru centralele (I) și (II) au următoarele valori:

$$b^{cr}_{CTE_{\mathrm{I}}} = \frac{b_{CTE\,1}}{1-\sigma'_1} = \frac{0{,}61}{1-0{,}145} = \frac{0{,}61}{0{,}855} = 0{,}712$$

$$b^{cr}_{CTE_{\mathrm{II}}} = \frac{b_{CTE\,2}}{1-\sigma'_{\mathrm{II}}} = \frac{0{,}65}{1-0{,}137} = \frac{0{,}63}{0{,}863} = 0{,}730$$

Pentru centralele (III-IV-V) calculele conduc la următoarele valori ale consumurilor specifice suplimentare:

$$\sigma'_{III} = (0{,}278\, P_{III} - 15) \cdot 10^{-2} = 0{,}28$$

$$\sigma'_{IV} = (0{,}057\, P_{IV} - 4{,}7) \cdot 10^{-2} = 0{,}171$$

$$\sigma'_{V} = (0{,}076\, P_{V} - 2{,}1) \cdot 10^{-2} = 0{,}10$$

$$b^{cr}_{CTE_{III}} = \frac{0{,}63}{1 - \sigma'_{III}} = \frac{0{,}63}{1 - 0{,}28} = \frac{0{,}63}{0{,}72} = 0{,}88$$

$$b^{cr}_{CTE_{IV}} = \frac{0{,}68}{1 - \sigma'_{IV}} = \frac{0{,}68}{1 - 0{,}171} = \frac{0{,}68}{0{,}829} = 0{,}82$$

$$b^{cr}_{CTE_{V}} = \frac{0{,}64}{1 - \sigma'_{V}} = \frac{0{,}64}{1 - 0{,}1} = \frac{0{,}64}{0{,}9} = 0{,}71$$

Pentru realizarea unui consum minim de combustibil centralele vor intra în funcțiune și vor fi încărcate în următoarea ordine: centrala I, apoi centrala V, după care intră centrala II urmată de centrala IV și în cele din urmă se încarcă centrala III. Această ordine este dictată de valorile corectate ale consumurilor specifice suplimentare.

$$b^{cr}_{CTE_{I}} < b^{cr}_{CTE_{V}} < b^{cr}_{CTE_{II}} < b^{cr}_{CTE_{IV}} < b^{cr}_{CTE_{III}} \qquad (7\text{-}17)$$

Dacă centralele ar funcționa în paralel atunci regimul optim de încărcare rezultă la egalitatea consumurilor specifice suplimentare.

Pentru aplicarea modelelor de ordonanțare a sarcinilor la nivelul centralei și la nivelul unui sistem energetic compus din cinci centrale se presupun cunoscute următoarele: [13]

— Puterea instalată a fiecărei centrale se dă astfel:

$$P_{i_1} = 300 \text{ MW}; \quad P_{i_2} = 580 \text{ MW}; \quad P_{i_3} = 480 \text{ MW};$$

$$P_{i_4} = 500 \text{ MW}; \quad P_{i_5} = 290 \text{ MW};$$

— Puterea la vîrful sistemului $P_{vs} = 2050$ MW; Duratele de funcționare ale centralelor pe cele patru trimestre dintr-un an se dau astfel:

$$t_{I} = 2160 \text{ ore}; \quad t_{III} = 2928 \text{ ore};$$

$$t_{II} = 1464 \text{ ore}; \quad t_{IV} = 2208 \text{ ore}.$$

Vîrfurile de putere pe cele patru trimestre ale anului au valorile: $P_I = 1600$ MW; $P_{II} = 1393$ MW; $P_{III} = 1454$ MW; $P_{IV} = 1642$ MW.

— Prețurile combustibilului $\not p_{cc} = (1700 \ldots 2950)$ lei/tcc

— Investiția specifică variază între (15000—32000) lei/kWi;

— Fiecare centrală are patru căderi pe an de circa 25 ore fiecare. Prețul energiei nelivrate $\not p_{en} = 100$ lei/kWh. În perioada întreruperii la consumatori nu apar distrugeri de utilaje.

Cheltuielile de calcul (Z_{orc}) la nivelul fiecărei centrale electrice pentru puterea maximă au valorile:

$$Z_{orc_1} = 998 \cdot 10^6 \text{ lei/an}; \qquad Z_{orc_2} = 2100 \cdot 10^6 \text{ lei/an}$$
$$Z_{orc_3} = 1500 \cdot 10^6 \text{ lei/an}; \qquad Z_{orc_4} = 1260 \cdot 10^6 \text{ lei/an}$$
$$Z_{orc_5} = 750 \cdot 10^6 \text{ lei/an}$$

Ordinea de încărcare este următoarea (5-1-4-3-2) deoarece cheltuielile de calcul respectă relația:

$$Z_{orc_5} < Z_{orc_1} < Z_{orc_4} < Z_{orc_3} < Z_{orc_2} \tag{7-18}$$

Pentru a stabili contribuția fiecărei centrale la acoperirea curbei de sarcină se construiește și se rezolvă funcția de eficiență (Z_{orc}) scrisă astfel:

$$\begin{aligned} Z_{orc} = 10^3[&(600P_{1\text{-I}} + 796P_{2\text{-I}} + 825P_{3\text{-I}} + 591P_{4\text{-I}} + \\ &+ 364P_{5\text{-I}}) + (393P_{1\text{-II}} + 538P_{2\text{-II}} + 259P_{3\text{-II}} + \\ &+ 400P_{4\text{-II}} + 247P_{5\text{-II}} + (790P_{1\text{-III}} + 1078P_{2\text{-III}} + \\ &+ 1118P_{3\text{-III}} + 801P_{4\text{-III}} + 494P_{5\text{-III}}) + (596P_{1\text{-IV}} + \\ &+ 813P_{2\text{-IV}} + 843P_{3\text{-IV}} + 603P_{4\text{-IV}} + 372P_{5\text{-IV}})] + \\ &+ \not{p}_n(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5) = \text{minim} \end{aligned} \tag{7-19}$$

La rezolvarea problemei modelate de relația (7-19) se iau în considerație restricțiile funcționale și tehnologice impuse de structura sistemului. Caracterul probabilist al funcției de eficiență este imprimat de natura cererii de putere la nivelul fiecărui palier al curbei de sarcină pe cele patru trimestre ale anului. Din compararea valorilor deterministe și probabiliste ale cheltuielilor anuale rezultă $Z^{(pr)}_{orc} < Z^{d}_{orc}$ ceea ce arată că varianta probabilistă a repartiției reflectă mai fidel variația sarcinii pe palierele cererii și se preferă ca soluție optimă.

7.3. Eficiența și calitatea exploatării sistemelor de energie

Eficiența și calitatea exploatării sistemelor de energie reclamă rezolvarea următoarelor probleme: pregătirea calitativă și cantitativă a resurselor umane simultan cu îmbunătățirea normării întregii activități; reducerea costurilor și promovarea unei politici tarifare adecvate; creșterea nivelelor de eficiență și calitate a tuturor instalațiilor și pregătirea condițiilor de extindere la nivelul sistemului a calculatoarelor de proces care asigură sporirea productivității. La aceste premise se adaugă crearea condițiilor de dezvoltare a sistemelor de energie pe baza unei concepții optimale de proiectare-montaj și exploatare a tuturor instalațiilor energetice.

Aplicarea ingineriei umane la pregătirea calitativă a personalului muncitor reclamă utilizarea testelor profesionale și de aptitudini pentru selectarea

lucrătorilor, organizarea ergonomică a locurilor de lucru în vederea adaptării omului la condițiile de muncă și a munci la posibilitățile echipelor omogene de muncitori și predeterminarea corelațiilor dintre volumul de muncă și numărul de muncitori, ținînd cont de factorii de influență interni și externi procesului analizat. Exemplificarea acestor idei se poate face plecînd de la analiza personalului muncitor la nivelul întreprinderilor de rețele electrice (Tabelul (7-2)) și a indicelui de personal de la nivelul unor centrale electrice.

TABELUL 7.2

Valorile factorilor de influență (X) și a numărului de personal (Y_K) la nivelul unor întreprinderi județene de rețele electrice

Intreprinderea (m)	Factori de influență			Y_k
	X_1	X_2	X_3	
Ar	1047	1447	111	290
Bc	1137	2082	133	307
Tm	1731	895	297	433
IREB	2016	835	234	463
IDES	1457	1766	340	522
Bv	537	702	95	220
BM	918	307	131	261
Cj	1030	705	163	307
Gl	972	607	149	290
Dv	1077	1291	147	281
IS	827	335	87	254
Ct	1120	508	121	273
Ms	735	990	132	230
Grv	1379	1239	178	304
Pl	1560	1391	209	424
Sb	948	482	135	227
Sv	731	241	78	235

Pentru această exemplificare se consideră factorii de influență (X_1, X_2, X_3) reprezentați prin numărul de muncitori, cantitatea de energie livrată medie în producție de 10 ani și numărul mediu de receptori. Se notează Y_k = numărul de personal pe care îl are întreprinderea de rețele la momentul analizei. Numărul inițial al personalului (C_0) și numărul de întreprinderi (IRE) au valorile: $C_0 = 58$, iar $m = 17$. Puterile centralelor electrice analizate sub aspectul normării personalului se dau astfel: $P_1 = 50$ MW; $P_2 = 300$ MW; $P_3 = 1000$ MW. Aceste centrale pot funcționa cu trei tipuri de combustibili și anume: combustibili lichizi și gazoși ($k = 0{,}8$), combustibili inferiori (lignit) ($k = 1{,}1$) și cu praf de antracit ($k = 0{,}95$). Calculul numărului de personal necesar întreprinderii se face cu o funcție de forma:

$$Y_s = 58 + 0{,}125\,X_1 + 0{,}05\,X_2 + 0{,}5\,X_3 \qquad (7\text{-}20)$$

în care:

Y_s = numărul de persoane necesare funcționării întreprinderii de rețele electrice ținînd seama de coeficienții de corelație ($C_{K_1} = 0{,}135$; $C_{K_2} = 0{,}05$

și $C_{K_3} = 0{,}5$) stabiliți prin postdicție de 10 ani. Din compararea mărimilor (Y_K) și (Y_K) rezultă următoarea situație:

Intreprinderea	1	2	3	4	5	7	9	11	13	15	16	17
Y_k	290	307	433	463	522	261	290	254	230	424	227	235
Y_S	311	370	446	471	493	260	283	220	266	426	269	200
$(Y_S - Y_K)$	−21	−63	−13	−8	+29	+1	+7	+34	−36	−2	−42	+35

Din analiza datelor de calcul reiese că numai întreprinderea de rețele (7) și-a organizat și normat munca în așa fel încît diferența dintre numărul de persoane necesar (Y_s) și numărul de persoane existent în schemă (Y_k) să fie cît mai aproape de volumul real de muncă.

Calcularea numărului specific de personal la nivelul unei centraie se face astfel:

$$n_p = \frac{N_i}{P_i} = \frac{50k}{\sqrt{P_i}} \text{ (om/MW)}; \quad N_i = 50\, k\sqrt{P_i} \text{ (om/MW)} \tag{7-21}$$

în care: N_i = numărul de personal din centrala (i); k = coeficientul tipului de combustibil utilizat în centrală; P_i = puterea instalată a centralei (i).

Datele de calcul au următoarea structură:

Puterea centralei	$k_1 = 0{,}85$	$k_2 = 0{,}95$	$k_3 = 1{,}1$
1) $P_1 = 50$ MW;	$n_{p_1} = 6$ (om/MW)	$n_{p_2} = 6{,}7$ (om/MW);	$n_{p_3} = 7{,}8$ (omMW
2) $P_2 = 300$MW;	$n_{p_1} = 2{,}44$ (om/MW);	$n_{p_2} = 2{,}73$ (om/MW);	$n_{p_3} = 3{,}16$ (om/MW)
3) $P_3 = 1000$MW;	$n_{p_1} = 0{,}136$ (om/MW);	$n_{p_2} = 0{,}15$ (om/MW);	$n_{p_3} = 0{,}72$ (om/MW)

Pentru îmbunătățirea normării muncii personalului din cadrul centralelor electrice se propune o relație de forma:

$$n_{p_m} = \frac{k_n \cdot k}{\sqrt{P_i}} \tag{7-22}$$

în care: k_n = coeficient progresiv de normare.

După o serie de calcule comparative făcute pentru diverse tipuri de centrale electrice se propun pentru (k_n) următoarele valori: $k_n = 50$ pentru $P_i \leqslant 100$ MW; $k_n = (20 \div 25)$ pentru $P_i > 100$ MW. Pentru centrale automatizate de mare putere se ia în calcul valoarea $k_n = (15 \ldots 20)$. În aceste condiții numărul specific de personal pe (MW) instalat variază în funcție de puterea centralei și tipul de combustibil între limitele:

$P_i = 300$ MW $\quad n_{p_m} = (1{,}22 \ldots 1{,}52)$ (om/MW)

$P_i = 1000$ MW $\quad n_{p_m} = (0{,}044 \ldots 0{,}25)$ (om/MW)

Determinarea corelațiilor între indicii de creștere a producției (i_p), a fondului de retribuție (i_r), a numărului de lucrători (i_1), pe de o parte, și indicele creșterii productivității (i_{pm}) precum și cel al creșterii retribuției lunare (i_{rl}), pe de altă parte se face cunoscînd următoarele date: numărul de muncitori ($n_m = 800$), de ingineri și tehnicieni ($n_{i+t} = 70$) și numărul de personal ajutător ($n_{paj} = 60$); retribuția acestor categorii de lucrători se dă astfel $n_m^m = 2400$ lei/lună; $n_m^{i+t} = 3000$ lei/lună; $n_m^{paj} = 1800$ lei/lună; producția netă în anul de bază $P_{n0} = 50 \cdot 10^6$ lei iar în anul de plan $P_{n1} = 62{,}5 \cdot 10^6$ lei; creșterea indicatorilor pentru anul de plan se dă astfel: numărul muncitorilor crește cu 10%, iar retribuția lor lunară crește cu 8%, numărul inginerilor și tehnicienilor crește cu 8% iar retribuția lor lunară crește cu 4%. Calculînd acești indicatori cu ajutorul relațiilor expuse anterior rezultă:

$$i_p = \frac{P_{n_1}}{P_{n_0}} = 1{,}25 > \frac{F_{r_1}}{F_{r_0}} = i_r = 1{,}19 > i_l = \frac{n_{l_1}}{n_{l_0}} = 1{,}08 \qquad (7\text{-}23)$$

$$i_{p_m} = \frac{P_{m_1}}{P_{m_0}} = 1{,}14 > i_{r_m} = \frac{r_{m_1}}{r_{m_0}} = 1{,}09$$

în care: F_{r_1}; F_{r_0} = fondul anual de retribuție în anul de plan (F_{r_1}) și în anul de bază (F_{r_0}); n_{1_l} și n_{1_0} = numărul de lucrători în anul de plan ($n_{\beta 1}$) și în anul de bază ($n_{l\,0}$); P_{m_1} și P_{m_0} = productivitatea muncii în anul de plan (P_{m_1}) și în anul de bază (P_{m_0}); r_{m_1}, r_{m_0} = retribuția lunară în anul de plan (r_{m_1}) și în anul de bază (r_{m_0}).

Pentru stabilirea eficienței normării muncii se predetermină cheltuielile și investițiile necesare normării și se calculează economiile (E_{nr}) în urma aplicării noilor norme. Din datele culese din practică rezultă următoarele valori pentru Z_{nr} și E_{nr}:

$$Z_{nr} = C_{nr} + P_n I_{nr} = 6300 \text{ lei/an}; \quad E_{nr} = 9650 \text{ lei/an};$$

$$E_t = E_{nr} - Z_{nr} = 9650 - 6300 = 3350 \text{ lei/an};$$

$$E_l^{5\text{ a i}} = 3350 \times 5 = 16750 \text{ lei/dvc};$$

$$\rho_{ef} = \frac{9650}{6350} = 1{,}58 \left(\frac{\text{lei venit}}{\text{leu cheltuit}} \right)$$

Economia netă anuală este $E_t = 3350$ lei, iar economia pe durata de viață a cercetării (dvc) este de $E_l^{5\text{ ani}} = 16750$ lei.

Aplicarea teoriei costurilor la exploatarea optimală a sistemelor de energie implică urmărirea cheltuielilor ce se fac pe fiecare fază prin care trece sistemul (proiectare-montaj-exploatare) și înregistrarea costurilor de producere, transport și distribuție a energiei pe de o parte precum și reducerea acestora pe baza ingineriei și analizei valorii și a jocurilor de întreprindere care permit formarea decidenților pe de altă parte. La aplicarea teoriei costurilor trebuie avute în vedere în primul rînd particularitățile specifice ale sistemelor de energie în faza lor de exploatare și anume: producția este simultană cu consumul de

energie, ceea ce antrenează costuri mari de producere a energiei la vîrful sistemului, procesul de producție în energetică continuă în faza de transport și de distribuție, ceea ce arată că prețul energiei reflectă realitatea numai la nivelul sistemului energetic; producerea energiei în centrale electrice de termoficare reduce prețul produselor cu 30% față de producerea separată a energiei electrice și a căldurii în centrale termoelectrice; controlul utilizării energiei trebuie făcut direct de furnizor pentru a prevedea reducerea cheltuielilor pe baza scăderii consumurilor specifice de energie și a consumurilor proprii tehnologice din rețeaua interioară a fiecărei întreprinderi; realizarea planului de producție la nivelul exploatării este condiționat de cererea consumatorilor ceea ce reclamă calcularea cheltuielilor în funcție de calitatea și cantitatea energiei produse la cerere cu combustibili adecvați. Ca urmare a acestor particularități indicatorii de eficiență trebuie să aibă o plajă de valori cuprinsă între limitele minime și maxime. Pe baza acestor tendințe aparent contradictorii reducerea consumurilor și realizarea planului s-au legiferat două aspecte ale problemei și anume: planul de producție în energetică se consideră îndeplinit chiar dacă nu s-a realizat producția de energie planificată, iar indicatorii cost, beneficiul, rentabilitatea au limite de variație maxime și minime care reflectă particularitățile imprimate de consumatori la realizarea planului.

Datorită imposibilității de stocare a energiei este necesar ca pentru asigurarea calității producției să se prevadă la nivelul sistemului energetic o rezervă de putere în centrale sub forma de grupuri suplimentare, iar în rețelele electrice sub formă de circuite duble și triple. Rezerva din cadrul energeticii îndeplinește rolul depozitelor de produse din cadrul celorlalte ramuri ale economiei. Aceste rezerve influențează negativ prețul energiei. Pentru a preîntîmpina aceste neajunsuri se caută soluția optimă de alimentare a consumatorilor pe baza cheltuielilor totale minime. Un element esențial al modelului matematic al cheltuielilor îl constituie rezerva de putere necesară alimentării consumatorilor în cazuri speciale (această rezervă variază în funcție de gradul de siguranță în funcționare ce trebuie asigurat). Soluția optimă trebuie să conducă la un preț minim al producției. Dacă tarifele pentru energia electrică și căldură ar ține seama de gradul de siguranță asigurat fiecărui consumator atunci consumatorii ar contribui la stabilirea gradului optim de siguranță și n-ar fi tentați să solicite maximum de siguranță posibil. Interconectarea centralelor la nivelul sistemului energetic permite atît mărirea gradului de siguranță în alimentarea consumatorilor simultan cu folosirea rațională a instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei cît și o mai eficientă utilizare a resurselor primare. Întreprinderile de centrale sînt comandate operativ de către dispecerul național și trebuie să respecte strict această disciplină mai ales sub aspectul urmăririi curbei de consum. În acest context indicatorii de plan sînt puși sub semnul incertitudinii în ceea ce privește realizarea și depășirea lor în condiții de eficiență maximă. Avînd în vedere situația specifică a planului de producție din energetică, ar fi indicat ca la nivelul centralelor să se urmărească realizarea unor indicatori specifici cum ar fi: în locul producției globale și marfă să se urmărească realizarea graficului de putere; în locul productivității muncii exprimată valoric să se urmărească realizarea indicatorului (om/MW), iar în loc de cheltuieli la 1000 lei producție să se urmărească volumul de costuri fixe și variabile pe unitatea de produs.

Această cale ar simplifica activitatea de organizare a activității și ar duce la creșterea utilizării raționale a resurselor materiale și umane. Pe baza acestui set de indicatori s-ar crea condiții de cointeresare a întreprinderilor energetice la sporirea eficienței producției și la creșterea efortului cu care fiecare unitate industrială contribuie la înfăptuirea politicii de dezvoltare a industriei energiei electrice și termice.

Utilizarea diferitelor forme de combustibil pentru producerea energiei electrice și termice pune probleme grele de rezolvat la nivelul sistemului energetic. Întrucît dispecerul este interesat să realizeze un preț minim al energiei atunci cea mai simplă politică ar fi să se încarce centralele electrice care folosesc drept combustibil gazul metan. Aceasta ar contraveni legislației în vigoare cu privire la folosirea eficientă a combustibilului (gazul metan trebuie păstrat pentru chimie) și deci dispecerul trebuie să meargă pe ideea încărcării centralelor care folosesc drept combustibil cărbune inferior și energie hidro. Deși criteriului prețului minim și politica de combustibil cer ca centralele hidroelectrice să fie încărcate înaintea celor termoelectrice această situație nu depinde de dispecer, ci este condiționată de regimul hidraulic și de rezerva de apă din lacurile de acumulare. Încărcarea cu precădere a centralelor termoelectrice, din motivele arătate, influențează negativ prețul energiei și micșorează beneficiul pe sistem față de situația funcționării numai cu centrale termo cu gaze și hidroelectrice. În scopul cointeresării centralelor electrice de a folosi combustibili inferiori în locul altor forme de combustibil se impune stabilirea, pe de o parte a prețurilor convenabile la cărbuni inferiori, iar pe de altă parte planificarea prețului energiei să se facă între două limite (maximă și minimă) pentru a se putea prelua influențele impuse de regimul hidraulic. Pentru promovarea pe mai departe a politicii energetice raționale este necesar să se stabilească prețuri convenabile la combustibilul inferior și să se reflecte în politica de prețuri de energie particularitățile care intervin la nivelul întregului sistem energetic. Astfel s-ar crea cadrul favorabil obținerii unei producții de energie electrică și căldură la prețuri de vînzare cît mai mici. După cum se știe în energetică furnizorul este interesat și obligat să controleze modul de utilizare a energiei deoarece consumatorul influențează direct producția de energie. Îndrumarea consumatorului de către furnizorul de energie se face prin proiectarea și montajul corespunzător al instalațiilor, realizarea unui consum de combustibil și calificarea personalului care lucrează în instalațiile de producere, transport și utilizare a enerigei. Dacă consumatorul nu este îndrumat asupra modului rațional de utilizare a resurselor și instalațiilor atunci el ocazionează cheltuieli suplimentare și provoacă mărimea prețului de vînzare a energiei. Prețul energiei se poate stabili pe faze ale procesului tehnologic (producție, transport, distribuție), dar numai prețul la nivelul sistemului energetic reflectă fidel partea de valoare a energiei ce compensează cheltuielile pentru mijloacele de producție consumate și pentru retribuirea muncii prestate în vederea obținerii întregii producții. Rentabilitatea energiei electrice se stabilește la nivelul ramurii întrucît la acest nivel se interacționează toate aspectele procesului de producție, transport și distribuție a energiei.

Prețul energiei electrice este concludent la nivelul ramurii pe cînd cel al energiei termice reflectă condițiile procesului de producție, transport și distri-

buție și la nivelul platformelor industriale unde centrala electrică de termoficare este plantată. Ca urmare a specificului tehnologic al producției de energie electrică și termică și a particularităților sistemului energetic rezultă că planificarea prețurilor se face la nivel de ramură pentru energia electrică și la nivel de întreprindere pentru energia termică, apă caldă, apa tratată, apa industrială și pentru zgură și cenușă. Structura prețului energiei sub cea mai simplă formă reflectă corelația dintre cheltuielile variabile (făcute pentru procurarea combustibilului) și cheltuielile fixe (legate de retribuirea personalului, amortizări și diverse) raportate la volumul producției. Ponderea cea mai mare în prețul energiei o au cheltuielile cu combustibilul în cazul centralelor electrice de termoficare și centralelor termoelectrice. La centralele hidroelectrice ponderea cheltuielilor cu combustibilul în prețul energiei este practic zero. Căile de reducere a cheltuielilor de producție și de creștere a rentabilității activității la nivelul sistemului energetic se referă la reducerea consumurilor specifice, optimizarea regimului de funcționare ale centralelor electrice, stabilirea unei politici optime de investiții, creșterea productivității muncii, întreținerea optimală a instalațiilor, concentrarea producției în unități mari realizate sub formă de centrale electrice de termoficare, interconectarea instalațiilor la nivel național și internațional și stimularea consumului de energie electrică și termică printr-o politică tarifară adecvată. Reducerea cheltuielilor variabile revine la scăderea consumurilor specifice de combustibil prin încărcarea grupurilor la puterea optimă și prin repartiția economică a sarcinilor atît la nivelul centralelor cît și la nivelul sistemului energetic. Repartiția optimă a sarcinilor electrice și termice pe grupuri și pe centrale se realizează atît pe baza calculului variațional cît și mai ales pe baza programării dinamice în ideea minimizării cantității de combustibil necesară producției cerute de consumator pe o durată calendaristică prestabilită. Pentru reducerea prețului energiei, dispecerul energetic include în programul repartiției optime a sarcinilor pe sistem, centrale hidroelectrice. Astfel, curba de sarcină a sistemului se acoperă în următoarea ordine: la baza curbei se prevăd centrale electrice cu program impus (centrale hidroelectrice pe firul apei, centrale funcționînd cu combustibil deșeu (gunoaie) și centrale de termoficare cu sarcină termică obligatorie), apoi urmează centralele termoelectrice care utilizează cărbune și în final se pun în funcțiune centralele hidroelectrice cu lac de acumulare. Dacă centralele hidroelectrice cu lac de acumulare pot fi încărcate peste puntea planificată (cînd există o rezervă suficientă de apă în lac) atunci această acțiune permite descărcarea centralelor termoelectrice în ordinea descrescătoare a consumurilor specifice suplimentare. Creșterea productivității muncii influențează scăderea prețului energiei prin reducerea ponderii cheltuielilor de retribuire a personalului din centrale și stații, prin automatizarea instalațiilor și prin organizarea rațională a muncii în cadrul instalațiilor energetice. Nivelul tehnic mai înalt al instalațiilor și calificarea superioară a personalului din exploatare sînt surse de creștere a productivității și de reducere a prețului energiei. Practica exploatării instalațiilor energetice pe plan mondial și în țara noastră a demonstrat că la un grad mare de interconexiune a centralelor electrice se folosesc mai eficient grupurile, cazanele și liniile electrice la nivelul întregului sistem energetic. Eficiența crește cu cît curba de consum este mai aplatisată. Aplatisarea curbei de sarcină se poate face prin-

tr-o politică de stimulare a consumului de energie în afara orelor de vîrf de sarcină ale sistemului energetic. Creșterea consumului de energie în afara orelor de vîrf se face printr-o politică tarifară convenabilă părților cuplate furnizor-consumator. Gospodărirea judicioasă a energiei implică reducerea în principal a consumului de energie electrică, energie termică și gaze naturale în condiții de creștere a efectului util al energiei și a diminuării pierderilor la nivelul fiecărui proces energotehnologic. Transpunerea în practică a noilor orientări privind utilizarea eficientă a resurselor energetice primare și transformate se poate realiza printr-un complex de măsuri dintre care normarea și raționalizarea consumurilor, reducerea consumurilor proprii tehnologice și a consumurilor specifice, proiectarea unor tehnologii neenergofage și fixarea de tarife care să pună capăt risipei de energie trebuie să intre în preocupările fiecărui energetician și tehnolog din cadrul proceselor energointensive. Conform legislației în vigoare noile norme de consum energetic se referă la toate categoriile de consumatori și se stabilesc la anumite nivele diferențiat pentru perioadele de iarnă și de vară. Prețurile pentru energia electrică, energia termică și gaze naturale se stabilesc diferențiat în funcție de mărimea locuințelor, numărul de persoane care compun familia și mediul (urban, respectiv rural) în care se găsește consumatorul de energie. Tariful pentru energia electrică variază între 0,55 lei/kWh și 0,75 lei/kWh pentru consumul planificat. Pentru depășirea consumului tariful crește la 0,90 lei/kWh. Limitele consumului variază de la 500 kWh pînă la 600 kWh pentru o cameră de locuit cu (1 ... 2) persoane și este cuprins între (1025 ... 1225) kWh pentru un apartament cu cinci camere locuite de (5 ... 6) persoane. Pentru plite electrice tariful este de 0,55 lei/kWh pentru un consum de 120 kWh/lună. Energia electrică pentru utilitățile comune din blocurile de locuințe se tarifează cu 0,58 lei/kWh. Energia termică produsă în centrale electrice de termoficare se tarifează cu 80 lei/Gcal. Pentru energia termică produsă în centralele termice tarifele se stabilesc astfel încît rentabilitatea să fie de pînă la 3%. Gazele naturale se tarifează cu prețuri între (0,350 ... 0,450) lei/mc pentru consumuri normale. Determinarea costului energiei cu ajutorul cercetării operaționale se face pe baza calculului din cazul numeric care se prezintă în cele ce urmează.

În vederea acoperirilor cererilor de energie pe o durată de perspectivă a sistemului se preconizează proiectarea unei centrale electrice de $900 \div 1320$ MW cu grupuri de 330 MW și cazane de 520 t/h. Timpul de funcționare al sistemelor (t_f) și consumul specific (q) sînt: $t_f = 8760$ (h/an); $q = 0{,}31 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{tcc}}{\text{kWh}}\right)$. Pentru racordarea la sistem a centralei proiectate în două variante $V_I = 3 \times 330$ MW $V_{II} = 4 \times 330$ MW se prevăd două soluții: A. Construirea a trei LEA cu secțiunea 3×450 mm² OL-AI cu lungime de $l = 30$ km, pînă la o stație electrică din sistem. Datorită configurației sistemului pierderile de putere la vîrf în primii 10 ani, au următoarele valori: $\Delta P \rightarrow (0 - 1) \rightarrow 8$ MW; $(2 - 4) \rightarrow 9$ MW; $(5 - 7) \rightarrow 10$ MW; $(8 - 10) \rightarrow 8$ MW, după care rămîn constante. Fiecare celulă costă aproximativ $3 \cdot 10^6$ lei. Un km de linie costă 1×10^6 lei.

B. Racordarea centralei la sistem în această variantă implică construirea a trei linii (LEA) — 220 kV; 3×450 mm² OL-AI; lungime = 30 km, iar stația (B) în sistem se construiește cu 12 celule de racord.

1. Structura cheltuielilor totale actualizate pe baza cercetării operaționale arată astfel:

$$Z_{tac} = \sum_{i=1}^{t} (1 + p_n)^{-i} (I_i + C_i + D_i - V_i) - R_{tac} =$$

$$= Z_s + Z_a + Z_e + Z_{or} + Z_{im} + Z_{pr} + Z_{cr} + Z_{iav} +$$

$$+ Z_{dd} + Z_{cs} = \text{minim}$$

2. Calculul investițiilor și cheltuielilor cu ajutorul cercetării operaționale aplicate la conceperea și realizarea obiectivului energetic analizat se face astfel:

I. Varianta 3×330 MW

Aplicarea teoriei stocurilor

$Z_s = I_s + C_s - R_s$. Daunele D_i și venitul V_i nu se vor lua în considerare;
$I_s = 0{,}8 \cdot 10^9$; $R_s = 0{,}97 I_s$ lei

$$C_s = C_s^P + C_s^M + C_s^E = 2(c_s^{an} V_s)^{PM} \cdot p_s^s + 2(c_p^{an} V_p)^{PM} p_s^p + (c_s^{am} B_{ssup} p_s^e)^E$$

$p_s^s = 0{,}89 \qquad p_s^p = 0{,}1; \qquad p_s^e = 0{,}01$

$V_s = 1{,}35 \cdot 10^6$ $V_p = V_s p_s^p = 1{,}35 \cdot 10^6 \cdot 0{,}1 = 0{,}135 \cdot 10^6$ u.c.

pentru un grup.
Pentru trei grupuri rezultă valorile

$V_s = 3{,}05 \cdot 10^6$ u.c $V_p = 0{,}305 \cdot 10^6$ u.c.

$$C_s = (2 \cdot 100 \cdot 3{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}89 + 2 \cdot 100 \cdot 0{,}305 \cdot 10^6 \cdot 0{,}1)^{PM} +$$

$$+ (200 \cdot 0{,}31 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 330 \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot 0{,}01)^E$$

$Z_s = 0{,}8 \cdot 10^9 + 0{,}553 \cdot 10^9 - 0{,}8 \cdot 0{,}97 \cdot 10^9 = 0{,}577 \cdot 10^9$ lei

$$Z_{stac} = \sum_{1}^{25} (1 + 0{,}06)^{-i} (0{,}8 \cdot 10^9 + 0{,}553 \cdot 10^9) - R_{tac} = 7{,}37 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei așteptării

$$Z_{atac} = I_{atac} + C_{atac} - R_{atac} = \sum_{i=1}^{25} (1 + 0{,}06)^{-i} (I_a + C_a) - R_{atac}$$

$I_a = 0{,}2 \cdot 10^9$ lei $\quad R_a = 0{,}97 I_a$

$C_a = [2(25\,000 + 1\,000)\,365 + (20 \cdot 80 + 200 \cdot 5) \cdot 365]\,0{,}9 =$

$= 23{,}91 \cdot 10^6$ lei $= 0{,}02391 \cdot 10^9$ lei

$Z_a = 0{,}03 \cdot 0{,}2 \cdot 10^9 + 23{,}91 \cdot 10^6 = 29{,}91 \cdot 10^6$ lei

$$Z_{a\,tac} = \sum_{1}^{25} (1 + 0{,}06)^{-i} (I_a + C_a) - R_{atac} = 0{,}382 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teorici echipamentelor

$$R_e = 0{,}97 I_e; \quad I_e = 4{,}2 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_e = 0{,}009 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot 25 = 1{,}951 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_e = 0{,}03 \cdot 4{,}2 \cdot 10^9 + 1{,}951 \cdot 10^9 = 2{,}077 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{etac} = \sum_i (1 + 0{,}06)^{-i} (I_e + C_e) - R_{etac} = 26{,}544 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei ordonanțării

$$R_{or} = 0{,}97 \cdot I_{or}$$

$$I_{or} = 1200 q_{sup} E_p \not{p}_{or} = 1200 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 8760 \cdot 0{,}1 =$$
$$= 0{,}2257 \cdot 10^9 \text{ lei} \qquad I_{or} = 0{,}2257 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{or} = B_{orsup} \cdot \not{p}_c \not{p}_{or} = 0{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 8760 \cdot 0{,}1 \cdot 800 =$$
$$= 0{,}1719 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{or} = 0{,}3 \cdot 0{,}2257 \cdot 10^9 + 0{,}1719 \cdot 10^9 = 0{,}239 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{or\,tac} = 3{,}0544 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea ingineriei umane

$$I_{im} = 0{,}2 \cdot 10^9 \text{ lei} \qquad R_{im} = 0{,}97 I_{im}$$

$$C_{tm} = (C_{olm} P_{in} + C_{nr} P_{nr} + C_{oc} P_m)_{im}^{PME}$$

$$C_{olm} = L_{pm} i_p P_i i_{im} \not{p}_{im} = 3 \cdot 0{,}3 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 0{,}5 \cdot 10^7 \cdot 0{,}2 = 0{,}891 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{nr} = k_{om} N_x r_{mp} \not{p}_{nr} = 3 \cdot 330 \cdot 30\,000 \cdot 0{,}6 = 0{,}0178 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{oc} = k_{pm} \cdot N_p^m \cdot C_{sp}^m \not{p}_{oc} = 3 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 = 0{,}15 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{im} = 0{,}891 \cdot 10^9 + 0{,}0178 \cdot 10^9 + 0{,}15 \cdot 10^9 = 1{,}058 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{im} = 0{,}03 \cdot 0{,}2 \cdot 10^9 + 1{,}058 \cdot 10^9 = 1{,}064 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{im\,tac} = 13{,}597 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei prognozei

$$R_{pr} = 0{,}97 I_{pr}$$

$$C_{pr} = 0{,}09 \cdot 6\,000 \cdot 10^3 \cdot 0{,}35 \cdot 8760 = 1{,}65 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$I_{pr} = \not{p}_{pr} i_{ep} \cdot P_{pr} = 0{,}09 \cdot 5\,200 \cdot 6\,000 \cdot 10^3 = 2{,}808 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{pr} = 0{,}03 \cdot 2{,}808 \cdot 10^9 + 1{,}65 \cdot 10^9 = 2{,}5 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{pr\,tac} = 2{,}5 \cdot 10^9 \cdot 12{,}78 = 31{,}95 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei deciziei și a ingineriei valorii

$$I_{dd} = 0{,}6 \cdot 10^9 \quad C_{dd} = 0{,}42 \cdot 10^9 \; R_{dd} = 0{,}97 \, I_{DD}$$

$$Z_{dd} = 0{,}03 \cdot 0{,}6 \cdot 10^9 + 0{,}42 \cdot 10^9 = 0{,}438 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{dd\,tac} = 5{,}597 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{iav\,tc} = 0{,}315 \cdot 10^9;$$

$$Z_{iav\,tac} = 4{,}80 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei costului și a teoriei riscului

$$Z_{tcr} = (0{,}573 + 0{,}029 + 2{,}077 + 1{,}064 + 2{,}808 + 0{,}10 + 0{,}315 + 0{,}239 + 0{,}438) \cdot 10^9 = 7{,}643 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{tac} = 94{,}66 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{tr}^{tc} = 0{,}1 \cdot 10^9; \quad Z_{tr}^{tac} = 1{,}278 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei echivalării energetice

$$V_I = 3 \times 330 \text{ MW}$$

$$Z_{ech} = \Delta P_{(II-I)}(i_{sp} + t_f c^{es}) \frac{1}{\eta_{pt}}$$

$$Z_{ech} = 330 \cdot 10^3(5200 + 8760 \cdot 0{,}35) \frac{1}{0{,}92} = 2{,}394 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_I = 2{,}934 \cdot 10^9 \text{ lei}; \quad Z_{I\,tac} = 37{,}49 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Aplicarea teoriei investițiilor și a cheltuielilor sistemice

$$R_{cs} = 0{,}97 \, I_{cs}$$

A. $$I_{sls} = 12 \cdot 3 \cdot 10^6 + 30 \cdot 1 \cdot 10^6 = 66 \cdot 10^6 \text{ lei}$$

$$I_{att} = 4{,}3 \cdot 10^6 \text{ lei}$$

$$I_{ada} = I_{tcb} + I_{ttc} = 1 \cdot 10^9 \text{ lei} \quad I_{ada} + I_{tcb} + I_{ttc} = 2 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$I_m = 1200(B_I + B_{s1}) = 1200\left(q_{sp}E_I + q_{sp}\Delta E \frac{1}{\eta_{opt\,A}}\right)$$

$$I_m = 1200\left(0{,}31 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 8760 + 0{,}31 \cdot 8760 \cdot 8{,}48 \frac{1}{0{,}92}\right) = 3{,}25 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$I_{ech\,A} = \Delta P i_{sp} \frac{1}{\eta_{opt\,A}} = 8{,}48 \cdot 10^3 \cdot 5200 \frac{1}{0{,}92} = 47{,}89 \cdot 10^6 \text{ lei}$$

anii	0—1	2—4	5—7	8—10	TOTAL
ΔP_A MW	8	9	10	8	—
ΔP_A MW diferențială	+8	+1	+1	−2	8
ΔP_A MW actualizată	—	—	—	—	8,48

$$\Delta P_{act} = \Delta P_{A\,dif} \cdot 1{,}06 = 8{,}48 \text{ MW}$$

$$I_{cs} = 5{,}36 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{cs} = \frac{2{,}5}{100}(I_{sls} + I_m + I_{ada} + I_{tcb} + I_{dtt} + I_{dtc}) + C_{ech}$$

$$C_{ech} = c^{es}_{ech} E_{ech} = C^{es}_{ech} P_{ech} t_f \frac{1}{\eta_{cpt}} = \frac{0{,}35 \cdot 8{,}48 \cdot 10^3 \cdot 8760}{0{,}92}$$

$$C_{cs} = 0{,}162 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{csA} = 0{,}03 \cdot 5{,}36 \cdot 10^9 + 0{,}162 \cdot 10^9 = 0{,}322 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{csA\,tac} = 4{,}115 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

B. $I_{sls} = 12 \cdot 3 \cdot 10^6 + 30 \cdot 1 \cdot 10^6 = 66 \cdot 10^6$ lei

$I_{ada} = I_{cb} + I_{dct} = 1 \cdot 10^9$ lei; $I_{dtt} = 3{,}55 \cdot 10^6$ lei

$I_m = i^m_{sp} B_B = 1200 \cdot 0{,}31 \cdot 3 \cdot 330 \cdot 8760 = 3{,}15 \cdot 10^9$ lei

$I_{cs} = I_{sls} + I_{ada} + I_{tcb} + I_{dtc} + I_{dtt} + I_m = 5{,}219 \cdot 10^9$ lei

$$C_{cs} = \frac{2{,}5}{100} I_{cs} = 0{,}130 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{csB} = 0{,}03 \cdot 5{,}219 \cdot 10^9 + 0{,}130 \cdot 10^9 = 0{,}286 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$Z_{csBtac} = 3{,}65 \cdot 10^9$ lei $Z_{IA} = 10{,}899 \cdot 10^9$; $Z_{IB} = 10{,}863 \cdot 10^9$ lei

$Z_{I\,tac} = Z_{I\,tac} + Z^{I}_{cstcoA} > Z_{1tac} + Z_{stacB}$

$Z_{I\,tac.1} = 132{,}5 \cdot 10^9 + 4{,}115 \cdot 10^9 = 136{,}265 \cdot 10^9$ lei

$Z_{I\,tacB} = 132{,}04 \cdot 10^9 + 3{,}65 \cdot 10^9 = 135{,}69 \cdot 10^9$ lei

II. Varianta 4 × 330 MW

Teorie stocurilor

$$C_s = 2 \cdot 100 \cdot 5{,}4 \cdot 10^6 \cdot 0{,}89 + 2 \cdot 100 \cdot 0{,}54 \cdot 10^6 \cdot 0{,}10 +$$

$$+ 200 \cdot 0{,}31 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 8760 \cdot 0{,}01 = 0{,}978 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_s = 0{,}03 \cdot 0{,}8 \cdot 10^9 + 9{,}778 \cdot 10^8 = 1{,}002 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{stoc} = 12{,}80 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria așteptării

$$Z_a = 29{,}91 \cdot 10^6 \text{ lei}; \quad Z_{a\,tac} = 3{,}82 \cdot 10^8 \text{ lei}$$

Teoria echipamentelor

$$C_e = 0{,}009 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot 25 = 2{,}59 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_e = 0{,}03 \cdot 4{,}2 \cdot 10^9 + 2{,}59 \cdot 10^9 = 2{,}716 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{e\,tac} = 34{,}71 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria ordonanțării

$$C_{or} = 0{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 8760 \cdot 0{,}1 \cdot 800 = 0{,}2286 \cdot 10^6 \text{ lei}$$

$$I_{or} = 1200 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}31 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 8760 \cdot 0{,}1 = 0{,}3 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{or} = 0{,}237 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{or\,tac} = 3{,}028 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria ingineriei umane

$$C_{oim} = 3 \cdot 0{,}3 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 0{,}5 \cdot 10^7 \cdot 0{,}2 = 1{,}18 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$C_{nr} = 0{,}236 \cdot 10^9; \quad C_{oc} = 150 \cdot 10^6 \text{ lei} = 0{,}150 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{im} = 0{,}03 \cdot 0{,}2 \cdot 10^9 + 1{,}50 \cdot 10^9 = 1{,}566 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{im\,tac} = 19{,}93 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria prognozei

$$Z_{pr} = 0{,}03 \cdot 1{,}54 \cdot 10^9 + 0{,}907 \cdot 10^9 = 0{,}953 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{pr\,tac} = 12{,}17 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Puterea prognozată 330 MW la nivelul sistemului

Teoria deciziei și ingineria valorii

$$Z_{aa} = 0{,}03 \cdot 0{,}6 \cdot 10^9 + 0{,}42 \cdot 10^9 = 4{,}38 \cdot 10^8 \text{ lei} = 0{,}438 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{aa\,tac} = 5{,}597 \cdot 10^9 \text{ lei}; \quad Z_{iav}^{to} = 0{,}315 \cdot 10^9 \text{ lei}; \quad Z_{iav}^{ia} = 4{,}8 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria costului și teoria riscului

$$Z_{tci} = 7{,}356 \cdot 10^9 \text{ lei} \qquad Z_{ir}^{to} = 0{,}100 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$Z_{tc\,tac} = 94{,}78 \cdot 10^9 \text{ lei} \qquad Z_{ir}^{ac} = 1{,}278 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

Teoria investițiilor și a cheltuielilor sistemice

A. $I_{cs} = 0{,}066 + 0{,}044 + 1{,}015 + 1{,}015 + 0{,}515 + 4{,}311) \cdot 10^9 =$
$= 6{,}49 \cdot 10^9$ lei

$$C_{cs} = \frac{2 \cdot 5}{100} I_{cs} = 0{,}161 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$I_m = 1200 \left(0{,}31 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 8760 + 0{,}31 \cdot 8760 \frac{8{,}42}{0{,}92} \right) = 4{,}311 \cdot 10^6 \text{ lei}$$

$Z_{cs} = 0{,}354 \cdot 10^9$ lei $\quad Z^A_{cs\,tac} = 4{,}52 \cdot 10^9$ lei

B. $I_m = 1200 \cdot 0{,}31 \cdot 4 \cdot 330 \cdot 8760 = 4{,}28 \cdot 10^9$ lei

$I_{cs} = 6{,}43 \cdot 10^9$ lei $\quad C_{cs} = 0{,}1607 \cdot 10^9$ lei

$Z_{cs} = 0{,}35 \cdot 10^9$ lei $\quad Z^B_{cs\,tac} = 4{,}47 \cdot 10^9$ lei

$Z_{\text{II}\,tac} = Z_{\text{II}\,tac} + Z^{\text{II}}_{cs\,tac\,B} < Z_{\text{I}tac} + Z^{\text{II}}_{cs\,tac\,A}$

$Z_{\text{II}\,tac\,A} = 99{,}198 \cdot 10^9$ lei

$Z_{\text{II}\,tac\,B} = 99{,}048 \cdot 10^9$ lei

Compararea cheltuielilor și determinarea costului total actualizat conduce la următoarele rezultate:

$$Z^B_{\text{II}\,tac} = 99{,}04 \cdot 10^9 \text{ lei} < Z^A_{\text{II}tac} = 99{,}198 \cdot 10^9 \text{ lei}$$

$$c^{tac}_{st} = \frac{99{,}04 \cdot 10^9}{25 \cdot 11{,}56 \cdot 10^9} = \frac{99{,}04 \cdot 10^9}{279 \cdot 10^9} = 0{,}354 \text{ (lei/kWh}$$

Costul energiei se poate reduce prin scăderea consumurilor specifice și a consumurilor proprii tehnologice pe de o parte și respectiv a scăderii investiției și a cheltuielilor pe de altă parte prin aplicarea principiilor ingineriei valorii la nivelul concepției obiectivelor energetice și prin aplicarea metodelor de lucru al analizei valorii la nivelul instalațiilor energetice în funcțiune. Aplicînd principiile ingineriei valorii se reduc cheltuielile, respectiv investițiile cu (25 — 30)% și rezultă costul specific actualizat egal cu 0,297 lei/kWh.

Aplicarea teoriei deciziei la organizarea optimală a energeticii trebuie să se facă în concepție sistemică. Această nouă orientare presupune luarea în considerație a tuturor factorilor care condiționează realizarea obiectivelor energetice sub aspect tehnologico-organizatoric la nivelul fiecărei faze prin care trec sistemele proiectate (proiectare, montaj, exploatare). Deciziile pot fi strategice și tactice. Deciziile cu caracter strategic vizează dezvoltarea optimală în perspectivă a sistemelor de energie, iar cele tactice se referă la optimizarea activității curente de organizare a sistemului analizat. Problemele care trebuie avute în vedere la aplicarea în energetică a teoriei deciziei în primul rînd în formarea echipei de decidenți și în al doilea rînd găsirea modelelor agregat ale căror rezultate puse la dispoziția decidenților să permită echipei de decizie să aleagă cea mai rațională decizie de organizare a sistemului nou conceput. Declanșarea acțiunilor de organizare a sistemelor de energie presupune parcurgerea ciclului I.A.D. (informare, analiză decizie). Această

nouă viziune de pregătire a acțiunilor reclamă proiectarea și implementarea unor procese informatice (soft și hard) adecvate situațiilor specifice ale activității energetice (cercetare-proiectare construcții-montaj și exploatare-dezvoltare); reevaluarea activității pe baza analizei diagnostic aplicată la diverse nivele ierarhice de organizare a sistemelor precum și construirea unui proces decizional matematizat în vederea conducerii sistemului pe traiectoria dorită. Învățarea modului în care se construiesc decizii se realizează cu ajutorul jocurilor de întreprinderi care operează cu teoria cazurilor. Orice „joc de întreprindere" presupune respectarea a trei condiții și anume: existența mai multor jucători ca parteneri de joc; stabilirea unor reguli ale jocului și existența unui cîștigător. Jocul de întreprindere aplicat la New York University și preluat de o echipă de specialiști din țara noastră [48] are scop didactic și servește pentru instruirea în laborator atît a studenților cît și a inginerilor de la cursurile postuniversitare de inginerie economică, în tehnica construirii corecte a deciziilor. Jocul simulează pe bază de program activitatea pe funcțiuni a circa 12 întreprinderi cu profil similar grupate în patru industrii, care își desfac produsele pe aceleași piețe. Cîștigătoare este întreprinderea care obține cele mai bune rezultate economice. Fiecare unitate simulată este condusă de o chipă de studenți sau cursanți postuniversitari. Echipa de conducere urmărește aplicarea în practică a atributelor ce decurg din legislația în vigoare, privind elaborarea și îndeplinirea sarcinilor de plan. Deciziile construite de fiecare echipă de conducere se referă la toate clasele de activități din întreprindere pe o durată de (1 ... 2) ani dar calcularea rezultatelor ce se pot obține cu o suită de decizii se face lunar cu ajutorul unui program cuprinzînd peste 10 000 variabile într-un model agregat de mari dimensiuni. Modelul reflectă activitatea pe funcțiuni a întreprinderii simulate și este realizat în concepție sistemică. La aplicarea modelului se ține seama atît de structura internă a sistemului, cît și de legăturile acestuia cu mediu și se urmăresc în mod special situațiile de risc. Utilizarea jocului de construire a deciziilor are o serie de avantaje și neajunsuri cum ar fi: asigură integrarea cît mai eficientă a învățămîntului cu producția prin crearea unor laboratoare de construire corectă a deciziilor (laboratoare decizionale) pe bază de experimentare a unor modele reale simulate cărora li se aplică seturi diferite de decizii (pe bază de rezultate) se detașează decizia cu eficiența maximă ceea ce permite formarea deprinderilor, la studenți și cadre din producție, de-a conduce eficient sistemele complexe în situații de risc și incertitudine, cînd se iau în considerație restricțiile impuse obiectivelor reale de către ansamblul în care acestea funcționează integrat; jocul înlesnește proiectarea asistată de calculator a strategiei de dezvoltare pe termen lung a întreprinderilor simulate, permițînd eliminarea sau evitarea perturbațiilor datorită lipsei de experiență a celor ce conduc sistemele complexe; el creează premizele extinderii unui învățămînt programat în domeniul organizării și conducerii sistemelor de energie și grăbește învățarea construirii corecte a deciziilor întrucît în patru luni se asigură participarea la proces a viitorilor specialiști care în realitate ar trebui să învețe cu riscuri mult mai mari aceeași lecție în procese reale pe o perioadă de circa doi ani; jocul implică realizarea unei rețele de calculatoare de mare capacitate cu performanțe ridicate și reclamă consumarea unui volum mare de muncă de către cei care pregătesc și aplică în laborator

jocul de conducere. Deși construirea și aplicarea jocului de întreprindere reclamă un consum deosebit de materiale și energie el se justifică în principal prin consolidarea cunoștințelor economice la studenți și prin completarea unor noi aspecte de organizare și conducere a întreprinderilor industriale cu scopul formării unei gîndiri sistemice din punct de vedere tehnic și economic; jocul de întreprindere fiind o inovare a modului de învățare a studenților și de formare a decidenților prin cursuri postuniversitare de inginerie economică a fost introdus în diverse țări (R.F.G., Canada, Olanda, Ungaria, Polonia, URSS) și se aplică în diverse variante în cadrul învățămîntului tehnico-economic programat. Jocul de conducere a activității industriale așa cum apare la varianta sa originală permite simularea producției unor întreprinderi de profil grupate cîte trei unități în patru industrii care își desfac produsele pe aceleași piețe. Participanții la joc realizează o experiență comprimată de conducere colectivă a întreprinderilor cu ajutorul unui program ce simulează activitatea economică pe o durată de doi ani și urmăresc utilizarea eficientă a resurselor materiale și umane alocate pentru realizarea sarcinilor prestabilite. Echipele cuprind (5 ... 10) membri cîte (1 ... 2) oameni pe fiecare funcție a întreprinderii și un conducător general care coordonează întreaga activitate. Intreprinderile care participă la joc pot face parte, fie din aceeași centrală industrială, fie din centrale industriale diferite, dar trebuie să aibă produse cu caracteristici cvasisimilare. Membrii echipei de conducere trebuie să fie extrem de prudenți la cuantificarea legăturilor între activități atît din cadrul fiecărei întreprinderi cît și a celor dintre întreprinderi și sistemul general inclusiv mediu în care lucrează. O singură lună de desfășurare a activității se rezolvă de echipă într-o săptămînă. Pe măsură ce jocul progresează și echipa de conducere cîștigă îndemînare se poate rezolva într-o săptămînă o situație reală care se desfășoară pe o durată de (2 ... 3)luni. Vînzarea produselor se realizează în jocul original pe patru piețe și anume: piața internă, piața est-europeană, piața vest-europeană și piața nord-africană. Pe piața internă prețurile sînt fixe, iar pe piețele externe prețurile pot varia în funcție de condițiile de marketing (variații sezoniere ale cererii) din fiecare regiune unde se află piețele. Echipa de conducere a întreprinderii este controlată de echipa (biroul executiv) centralei industriale ca for ierarhic superior. Birourile de conducere ale centralelor industriale se întîlnesc cu echipele de conducere ale întreprinderilor de cinci ori în decursul jocului. Documentația pusă la dispoziție echipelor care participă la joc cuprinde: manualul jocului și structura programului; planul de activitate al întreprinderii pentru anul precedent și pentru anul în curs; rapoartele asupra cercetării pieții și buletinul de informare privind noutăți în domeniul organizării și conducerii producției din cadrul întreprinderilor simulate. Echipele de conducere ale întreprinderilor simulate și ale centralelor industriale ca organe ierarhice de conducere sînt dirijate de comitetul de coordonare al jocului. Comitetul poate modifica mediul simulat și are datoria de-a coordona desfășurarea jocului astfel încît să nu apară în program rezultate care ar denatura realitatea simulată și ar duce la faliment în întreaga activitate studiată. Comitetul de coordonare a jocului are următoarele sarcini: instruește echipele de conducere cu probleme de conținut ale jocului, asigură consultații pe parcursul desfășurării jocului; efectuează schimbări în structura jocului pe baza studiilor de prognoza la

nivelul grupurilor de întreprindere simulate; analizează și verifică săptămînal deciziile elaborate de echipa de „joc" în vederea preîntîmpinării situațiilor care pot perturba desfășurarea jocului; organizează dezbateri pe bază de cazuri rezultate din desfășurarea jocului; întreține programul de calculator prin eliminarea eventualelor erori de programare; îmbunătățește modelele și subprogramele jocului; exercită atribuții ce revin organelor de la nivelul ramurii și al economiei naționale cu scopul de-a controla aplicarea legislației, evaluează rezultatele obținute de fiecare echipă de conducere și urmărește generalizarea deciziilor care au condus la cele mai bune performanțe.

Derularea jocului se face respectînd următoarele secvențe: fiecare echipă trebuie să studieze și să cunoască planul pe perioada care urmează și pentru care construiește decizia. Indicatorii de plan se prezintă fiecărui decident odată cu lista deciziilor ce au fost aplicate în anul trecut și ce rezultate s-au obținut; rapoartele asupra activității în anul de bază cuprind produsele marketate de fiecare întreprindere simulată în programul de calculator și rezultatele obținute pe cele patru piețe pentru fiecare producător de bunuri. În rapoarte se înscriu totodată și cheltuielile cu reclama, variația prețurilor cu amănuntul și a celor cu ridicata, volumul vînzărilor și cuantumul rabaturilor acordate de fiecare întreprindere pe piețele modelate în joc; la începerea derulării programului de joc trebuie să se cunoască situația forței de muncă din producție în anul de bază și structura ei în anul de plan; situația privind desfășurarea producției trebuie cunoscută de decidenți în detaliu. Rapoartele asupra proceselor de producție trebuie să cuprindă: structura sistemelor de fabricație și lista produselor noi asimilate pe luni; numărul de ore lucrătoare și a celor neproductive (goluri tehnologice, întreruperi energetice etc.); situația stocurilor și a economiilor și a comenzilor de materiale și combustibil etc.; investițiile se detaliază într-un raport separat cu scopul precizării activității în perioadele de bază și în perioadele de plan; decidenții trebuie să cunoască în detaliu conținutul rapoartelor elaborate pe funcții ale întreprinderii, atît pentru anul de bază, cît și pentru anul de plan cu evidențierea perspectivei simulate în jocul de întreprindere. Pe baza acestor rapoarte echipa de conducere trebuie să înțeleagă corect regulile jocului și să prevadă evoluția cheltuielilor și veniturilor în viitor pentru fiecare întreprindere simulată, astfel ca în condiții de export veniturile să acopere cheltuielile și să genereze beneficii; echipa de aplicare a jocului trebuie să analizeze sistemic aprovizionarea-producția-desfacerea-forța de muncă și posibilitățile de dezvoltare ale fiecărei întreprinderi ținînd seama de conceptele mecanismului economico-financiar din țara noastră; programul jocului cuprinde data cînd se remit deciziile — sub forma de inputuri — calculatoarele ce rulează programele de joc și data cînd echipa preia și analizează — outputurile jocului. Orarul desfășurării jocului este înmînat participanților de către comitetul de coordonare a jocului. Orarul jocului poate fi modificat în sensul reducerii numărului de luni simulate față de cele prevăzute inițial și a schimbării numărului de decizii care se referă la perioade de (2 ... 3) luni. Participanții la joc au acces la calculator prin intermediul numerelor rezervate jocului de întreprindere; sursa de informare pentru partenerii de joc este buletinul de știri a cadrelor de conducere și de rulare a jocului. În buletin apar toate știrile principale, privitoare la desfășurarea unităților simulate pe funcții: cercetare-dezvoltare;

aprovizionare-desfacere; producţie; personal şi activitatea financiar-contabilă; construirea modelului matematic agregat pe funcţii ale întreprinderii trebuie să preceadă faza de derulare a jocului. Relaţiile de calcul se trec pe cartele perforate, iar programul se verifică în prealabil fiind pregătit pentru rulare în momentul convocării echipei de joc pentru formularea şi promulgarea deciziilor. După terminarea rulării jocului se analizează rezultatele obţinute de echipele de conducere şi se stimulează decidenţii cu rezultate bune. Stimulările se acordă pentru obţinerea unor indicatori superiori de eficienţă şi calitate la nivelul întregii activităţi analizate.

Problemele de bază din cadrul funcţiilor întreprinderii simulate în structura jocului de conducere sînt următoarele: simularea componentelor planificării prin precizarea indicatorilor de eficienţă şi calitate a întregii activităţi momentane şi de perspectivă prin precizarea structurii secţiunilor de plan; precizarea sarcinilor de plan la nivelul funcţiei de cercetare-dezvoltare prin determinarea concepţiei tehnice (asimilarea de noi produse inclusiv modernizarea celor în fabricaţie, cumpărarea de licenţe şi asimilarea acestora, realizări de produse noi pe baza contractelor de cercetare pe plan intern şi în colaborare cu alte întreprinderi din străinătate) şi prin stabilirea structurii investiţiilor (echipamente noi, suprafeţe extinse de producţie şi spaţii noi de depozitare a resurselor şi a produselor finite) precum şi finanţarea obiectivelor prevăzute a se construi pe perioada simulată; precizarea sarcinilor la nivelul funcţiei comerciale prin raţionalizarea aprovizionării şi prin asigurarea desfacerii în condiţii de fluctuaţie a preţurilor urmărindu-se atît micşorarea tuturor cheltuielilor inclusiv a celor cu reclama cît şi creşterea veniturilor cu scopul sporirii beneficiului; precizarea sarcinilor la nivelul produselor şi a variaţiei capacităţilor de producţie de la începutul jocului, faţă de cele obţinute pe parcursul jocului prin implementarea noilor capacităţi. Totodată trebuie cunoscută atît structura forţei de muncă (numerică şi ca nivel de pregătire) cît şi modul de asigurare a producţiei cu materii prime şi energetice; precizarea sarcinilor la nivelul funcţiei de personal reclamă pe de o parte cunoaşterea numărului total de personal muncitor, a retribuţiei acestuia cu toată gama de schimbări prevăzute a se efectua în perioada simulată şi a calificărilor lucrătorilor solicitaţi în producţie, precum şi urmărirea influenţei tehnicii noi la creşterea productivităţii muncii pe de altă parte; precizarea sarcinilor la nivelul funcţiei financiar contabile prin stabilirea structurii bugetului de venituri şi cheltuieli pe de o parte şi prin sintetizarea indicatorilor de eficienţă şi calitate scontaţi pe de altă parte. Prin derularea jocului se urmăreşte realizarea indicatorilor financiari contabili cu respectarea disciplinei conturilor şi a structurii bilanţului contabil. Aceste sarcini şi indicatori se prezintă în structura jocului pe baza conceptelor mecanismului economico-financiar. Pregătirea deciziei în vederea derulării jocului de întreprindere se face de fiecare decident şi după discutarea în colectiv a propunerilor făcute se trece la completarea formularelor decizionale. Conţinutul acestor formulare este trecut apoi pe cartele şi se constituie programul de decizii pentru o rundă de rulare a jocului. Echipa de coordonare a jocului trebuie să instituie un procedeu de control privind modul de realizare şi de implementare a deciziilor de către comitetul de conducere a întreprinderii simulate. Prin control se evită eventualele erori ce se pot strecura în arhitectura deciziei şi se pot

elimina situațiile catastrofale de la nivelul întreprinderii simulată în cadrul jocului. Jocul de întreprindere este o metodă prin care atît cei ce lucrează în producție cît și cei care se pregătesc să devină organizatori ai structurilor de conducere învață să construiască și să aplice decizii în condiții de risc și incertitudine.

În vederea aplicării modelelor de decizie la stabilirea variantei optime de dezvoltare a sistemului energetic național cu 900 MW în centralele de bază s-au considerat următoarele: construirea unor centrale termoelectrice CTE; construirea unor centrale nucleare cu reactori cu apă grea CNE_1; construirea unor centrale nucleare cu reactori cu apă ușoară CNE_2; construirea unor centrale hidroelectrice CHE. Realizarea acestor tipuri de centrale depinde de o serie de factori necontrolabili cum ar fi: conjunctura pieții combustibilului fosil, prețul combustibilului nuclear, protecția deșeurilor radioactive și condiții climaterice. Se consideră cinci stări aleatorii (ale naturii) S_j; $(j = 1 \ldots 5)$ care dau caracterul de incertitudine al fenomenului. Utilitatea considerării variantei V_i în condițiile stării S_j este reprezentată prin sporul procentual al venitului național în raport cu investiția realizată. Datele de calcul se dau astfel:

V_i \ S_j	S_1	S_2	S_3	S_3	S_3
0	1	2	3	4	5
V_1 (CTE)	4	3	1	5	5
V_2 (CNE_1)	3	7	8	10	8
V_3 (CNE_2)	4	6	9	7	7
V_3 (CHE)	5	6	2	4	8

Se cere alegerea variantei optime pe baza teoriei deciziei aplicată la dezvoltarea sistemului energetic. Alegerea variantei optime de realizare a unui obiectiv energetic reclamă efectuarea următoarelor calcule:

a) $F = \max_i \left(\sum_j \frac{p_{ij}}{n} \right) = \max_i \left(\frac{18}{5}; \frac{36}{5}; \frac{33}{5}; \frac{25}{5} \right) \rightarrow V_2$

b) $F = \max_i (\min_j p_{ij}) = \max_i (1, 2, 3, 4) = 4 \rightarrow V_3$

c) $F = \max_i (\max_j p_{ij}) = \max_i (5, 10, 9, 8) = 10 \rightarrow V_2$

d) $F = \max_i \left[\alpha A_i + (1 - \alpha) a_i \right]; \quad \alpha = 0{,}5$

$F = \max_i (0{,}5 \cdot 5 + 0{,}5 \cdot 1; \quad 0{,}5 \cdot 10 + 0{,}5 \cdot 3; \quad 0{,}5 \cdot 9 + 0{,}5 \cdot 4;$

$0{,}5 \cdot 8 + 0{,}5 \cdot 2) = 6{,}5; \qquad V_2 = V_3$

e) $F = \min_i (\max_j r_{ij})$

Matricea regretelor are următoarea formă:

$$\|r_{ij}\| = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 8 & 5 & 3 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 7 & 6 & 0 \end{vmatrix}$$

$$F = \min (\max r_{ij}) = \min (8.\ 2,\ 3,\ 7) = 2 \rightarrow V_2$$

Decizia optimă preconizează construirea centralelor nucleare cu reactori HWR deoarece regretul în varianta (V_2) este minim.

Aplicarea teoriei deciziei la exploatarea instalațiilor energetice pe baza datelor de urmărire a uzurii echipamentelor și a planificării corecte a reparațiilor astfel ca producția de energie să nu fie afectată se poate face utilizînd conceptul de utilitate. În acest scop se consideră două instalații I_1 și I_2 identice din punct de vedere constructiv și funcțional care prezintă performanțe diferite în exploatare. Utilitățile pentru cele trei stări de funcționare se notează astfel: U_n=utilitatea pentru starea normală de funcționare a instalației; U_u = utilitatea pentru starea de avariere ușoară a instalației; U_g = utilitatea pentru starea de avariere gravă a instalației. Valorile pentru cele două instalații și cele trei stări de funcționare se dau astfel:

$$U_{n_1} = 1; \qquad U_{n_2} = 0{,}7; \qquad U_{u_1} = 0{,}6; \qquad U_{u_2} = 0{,}5$$

$$U_{g_1} = 0; \qquad U_{g_2} = 0{,}2; \qquad n_1 = 3 \qquad n_2 = 3$$

Probabilitățile de succes (p) și insucces (q) pentru instalația I_1 au valorile:

$$p_1 = 0{,}55; \quad q_1 = 0{,}45; \quad p_1 + q_1 = 1; \quad C_{IE} = 0{,}3 \text{ biți}$$

Prin C_{IE} s-a notat entropia informațională etalon a sistemului. Datele din exploatarea instalației permit stabilirea următoarelor probabilități de succes (p) și frecvență (f) de apariția lor.

Stările de funcționare	n		u		g	
	f_2	p_2	f_2	p_2	f_2	p_2
n	64	0,84	8	0,10667	4	0,05383
u	8	0,72727	3	0,27273	0	0
g	4	0,30769	0	0	9	0,69231

Aplicarea funcțiilor de eficiență a modelelor Wald-Neuman, Hurwicz și Bayes-Laplace conduc la următoarele rezultate:

$$F_{W-N} = \max \min U_{ij} = 0{,}2 \rightarrow V_2$$

$$F_H = \max (h_1;\ \ h_2) = \max (0{,}6;\ 0{,}5) = 0{,}6 \rightarrow V_1$$

$$h_1 = 1 \cdot 0{,}6 + (1 - 0{,}6) \cdot 0 = 0{,}6;$$

$$h_2 = 0{,}7 \cdot 0{,}6 + (1 - 0{,}6) \cdot 0{,}2 = 0{,}5$$

$$F_{B-L_1(2)} = \max \frac{U_{ij}}{n} = \max (0{,}533 \cdot 0{,}467) = 0{,}533 \rightarrow V_1$$

$$\left[\frac{U_{ij}}{n}\right]_1 = \frac{1 + 0{,}6 + 0}{3} = 0{,}533;$$

$$\left[\frac{U_{ij}}{n}\right]_2 = \frac{0{,}7 + 0{,}5 + 0{,}2}{3} = 0{,}467$$

Două din cele trei criterii de decizie conduc la varianta (V_1) ca soluție optimă de rezolvare a problemei.

Pentru aplicarea criteriului de decizie Savage se predetermină regretul astfel:

$$\| r_{ij} \| = \max \| U_{ij} - U_{ij} \| = \begin{Vmatrix} 0 & 0 & 0{,}2 \\ 0{,}3 & 0{,}1 & 0 \end{Vmatrix}$$

Funcția de eficiență a modelului de decizie tip Savage se scrie astfel:

$$F_S = \min \max \| r_{ij} \| = \min (0{,}2\ \ 0{,}3) = 0{,}2 \rightarrow V_1$$

În vederea aplicării criteriului Marcov pentru determinarea variantei optime se scrie și se rezolvă un set de relații de forma:

$$\not{p}_n^{(t)} + \not{p}_u^{(t)} = \not{p}_0^{(t)} = 1; \quad [\not{p}^{(t)}]\,[D] = 0$$

în care:

$\not{p}^{(t)}$ = vectorul probabilităților de stare a sistemului la momentul (t).

$[D] = [M] - [I]$ = matricea dinamică a sistemului.

$[M]$ = matricea stochastică a probabilităților de trecere a sistemului dintr-o stare în alta. $[I]$ = matricea unitate. Calculînd matricea $[D]$ și înlocuind în setul inițial de relații rezultă:

$$\not{p}_n^{(t)} + \not{p}_u^{(t)} + \not{p}_0^{(t)} = 1$$

$$-0{,}16000\, \not{p}_n^{(t)} + 0{,}72727\, \not{p}_u^{(t)} + 0{,}30769\, \not{p}_0^{(t)} = 0$$

$$0{,}10667\, \not{p}_n^{(t)} - 0{,}72727\, \not{p}_u^{(t)} = 0$$

$$0{,}05333\, \not{p}_n^{(t)} - 0{,}30769\, \not{p}_0^{(t)} = 0$$

Rezolvarea acestor relații conduce la următoarele valori ale probabilităților.

$$p_n^{(t)} = 0{,}75754; \quad (p_u^{(t)} + p_g^{(t)}) = 0{,}1111 + 0{,}1313 = 0{,}242461$$

Varianta optimă se stabilește prin aplicarea unei relații de forma:

$$V_{opt} = \max [U_{ij} \cdot p_j^{(t)}] = \max [0{,}824;\ 0{,}612]$$

$$V_{opt} = 0{,}824\text{u.v}$$

$$S_{mat_1} = 1 \cdot 0{,}75754 + 0{,}6 \cdot 0{,}1111 + 0 \approx 0{,}824$$

$$S_{mat_2} = 0{,}7 \cdot 0{,}75754 + 0{,}5 \cdot 0{,}1111 + 0{,}2 \cdot 0{,}13136 = 0{,}612.$$

Decizia optimă indică varianta (V_1) care se va lua în considerație la întocmirea documentelor de reparare a instalațiilor. Dacă se calculează entropia informațională sau comentropia generată de cele două instalații se obțin următoarele rezultate:

$$C_{I_1} = (-3{,}32\ 0{,}55 \lg 0{,}55 - 3{,}32\ 0{,}45 \lg 0{,}45) = 0{,}9928 \text{ biți}$$

$$C_{I_2} = +3{,}32(0{,}75575 \lg 0{,}75754 + 0{,}24246 \ln 0{,}242426) = 0{,}721 \text{ biți}$$

Gradul de organizare a sistemului pentru cele două situații analizate are următoarele valori:

$$g_{I_1} = \frac{C_{I_E}}{C_{I_1}} \cdot 100 = \frac{0{,}3 \cdot 100}{0{,}9928} = 30\%$$

$$g_{I_2} = \frac{C_{I_E}}{C_{I_2}} \cdot 100 = \frac{0{,}3 \cdot 100}{0{,}721} = 42\%$$

Întrucît cinci din șase criterii de decizie indică ca optimă varianta V_1 se acceptă ideea reparării instalației I_1. Prioritatea reparării instalației (I_1) față de instalația (I_2) este confirmată și de nivelul entropiilor și a gradului de organizare a instalațiilor în raport cu instalația etalon (I_E).

8. INGINERIA SISTEMELOR INFORMATICO-DECIZIONALE

8.1. Informatica sistemelor de energie

Ingineria sistemelor informatico-decizionale urmărește construirea concepției informatice a deciziei plecînd de la gîndirea și analiza fenomenelor din cadrul structurii energetice ale sistemelor mari apelînd în principal la concepția sistemică de abordare a activității pentru modelarea proceselor cu ajutorul cercetării operaționale și la implementarea programelor de calcul a soluției optime de proiectare-montaj-exploatare a obiectivelor energetice în asistența calculatoarelor de proces. În această idee se proiectează pentru fiecare sistem de energie partea de hard și cea de soft în special pentru obiectivele energetice noi și se îmbunătățește structura informatică a obiectivelor energetice în funcțiune pe baza metodologiilor de analiză ameliorative și corective. Partea de hard a unui sistem informatic integrat cuprinde rețeaua de calculatoare off și on line inclusiv banca de date și fișierele pentru prelucrarea și depozitarea informațiilor. Partea soft cuprinde programe și aplicații atît pentru sistemul de calcul cît și pentru rezolvarea unor probleme pe funcțiuni a sistemului cercetat. Informatica sistemelor de energie cuprinde: informatica ramurii energiei electrice și termice; informatica sistemului energetic și informatica întreprinderilor energetice (electrocentrale, rețele electrice și sectoare energetice ale unităților industriale). La ficcare nivel ierarhic se constituie cîte o bancă de date cu fișiere specializate pe probleme și funcții ale sistemului analizat. În vederea culegerii și prelucrării fără complicații a informațiilor se procedează la codificarea datelor și la agregarea lor. Gradul de agregare trebuie să crească odată cu trecerea la analiza fluxului de date a proceselor energetice la analiza activității întreprinderii, centralelor industriale, ministerului și ramurii energetice ușurînd astfel construirea deciziei la nivel strategic.

8.1.1. Proiectarea sistemelor informatice

Construirea deciziilor strategice trebuie să înceapă la nivelul proiectării sistemelor informatice. Pentru proiectarea sistemelor informatice se elaborează următoarele documentații: studiul de oportunitate, proiectele logic și tehnic

și manualul de prezentare a sistemului informatic proiectat. Studiul de oportunitate cuprinde tema de proiectare, analiza preliminară a sistemului abordat, schița soluției și schema de elaborare a procesului informatic, planificarea în timp a acțiunii și costul ei. Proiectul logic detaliază pe baza analizei preliminare structura noului sistem informatic. Astfel se elaborează structurile de date intrare-ieșire inclusiv legăturile dintre ele și tipurile de fișiere. Se construiesc schemele informatico-decizionale și se precizează structura băncii de date. Totodată se fac precizări privind circulația documentelor tipizate în sistem, structura procedurilor și programelor necesare abordării întregului sistem informatic. După precizarea costului proiectării logice se trece la abordarea proiectului tehnic. Proiectul tehnic reia conținutul proiectului logic în perspectiva prelucrării automate a datelor. Astfel se proiectează structurile informatice în detaliu și se urmărește realizarea parametrilor soluției optime atît la nivelul băncilor de date cît și la nivelul întregii rețele informatice. În acest context se proiectează în detaliu întreaga gamă de activități ținîndu-se seama de specificul unității beneficiare, se revăd specificațiile și procedurile automate respectiv pe cele manuale, se elaborează graficul de rulare a programelor pe calculator, se definitivează schemele logice pentru obținerea soluției finale de lucru, se elaborează instrucțiunile de operare și cele privind formarea joburilor. După precizarea costului proiectării tehnice se trece la implementarea întregului proiect. Pentru aceasta se testează documentația cu date reale, se pregătesc cadrele pentru echipamentul hard achiziționat și pentru partea de soft elaborată în cadrul proiectării, se pune la punct codificarea datelor și structura băncii centrale de date. Proiectanții urmăresc exploatarea noului sistem informatic pînă la atingerea parametrilor proiectați. Manualul de prezentare a sistemului informatic proiectat trebuie să cuprindă concepția generală a procesului inclusiv soluția optimă, schița aplicațiilor, necesarul de resurse, performanțele sistemului informatic, posibilitățile de extindere, programele și modul lor de aplicare cu date reale, costul tuturor operațiilor de implementare și exploatare a echipamentelor și a părții de soft inclusiv eficiența tehnico-economică a întregii acțiuni.

Bazele metodologice ale proiectării proceselor informatice integrate trebuie să cuprindă următoarele activități: proiectarea structurii și fluxului informațional în concepție sistemică pe baza rapoartelor pentru construirea deciziilor începînd cu nivelul strategico-tactic și încheind acțiunea la nivelul operativ de urmărire-control; precizarea în detaliul a fazelor de proiectare logică și tehnică inclusiv constituirea băncii de date pe funcțiuni și a fișierilor de informații pe probleme, realizarea unor scheme ierarhice de implementare a proceselor informatice pe baza sistemelor adaptive la care decizia din siste-

mul conducător să poată fi modificată sincron cu perturbaţia din procesul condus; construirea modelelor de realizare a procesului informatic trebuie începută după analiza sistemului de producţie şi eliminarea părţilor care perturbă regimul de funcţionare agregat al întreprinderii; finalizarea şi implementarea procesului informatic de conducere (PIC) şi a procesului de administrare a datelor. Schema logică privind algoritmizarea proiectării proceselor (PIC) şi (PAD) se dă în figura (8.1).

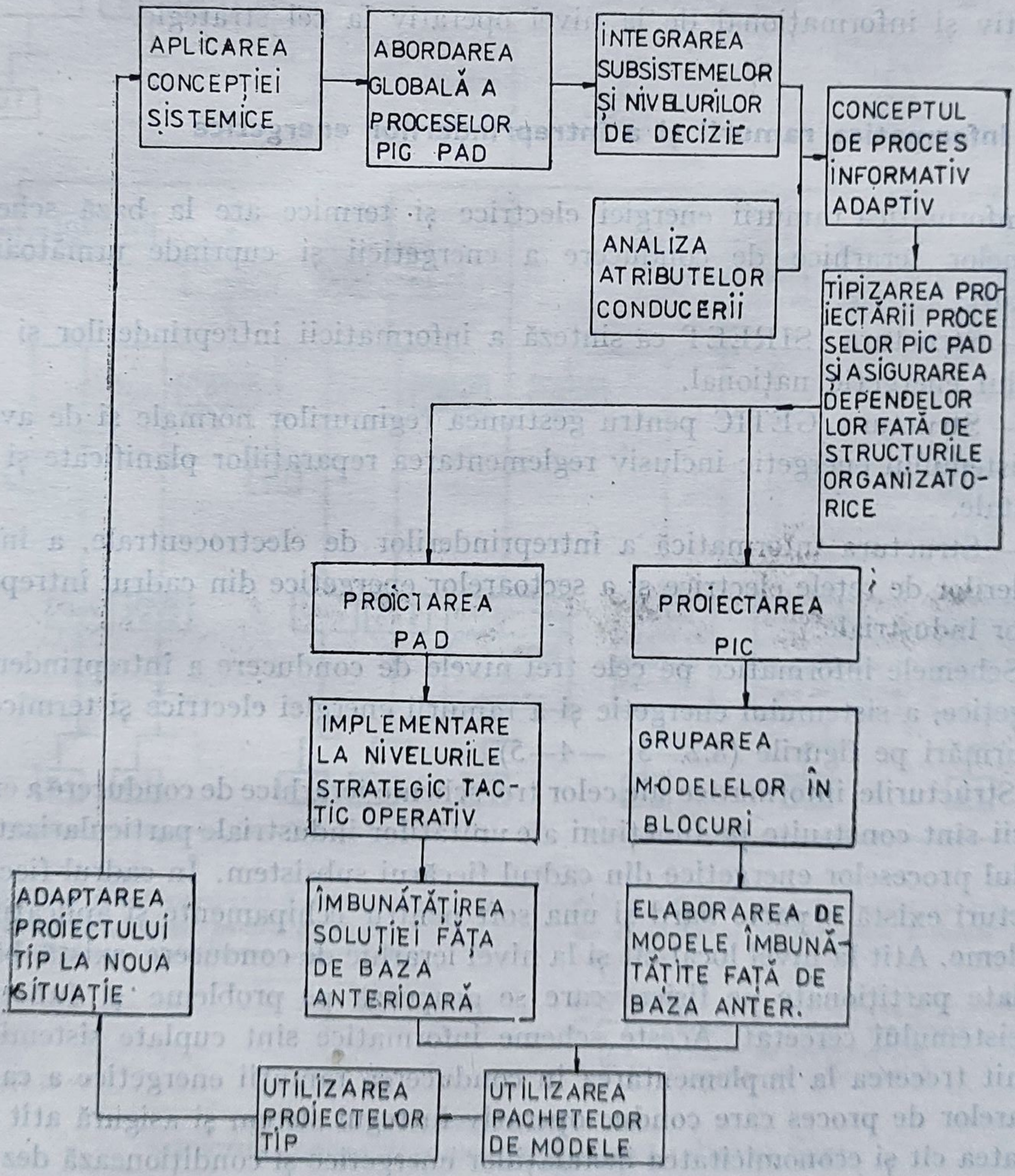


Fig. 8.1.

SCHEMA FUNDAMENTĂRII PROCESELOR INFORMATICE PIC; PAD LA NIVELUL SISTEMELOR INDUSTRIALE.

Prin (PIC) și (PAD) se culeg și se pun în circulație informații privind resursele materiale și energetice; stadiul realizării producției, structura tehnologiilor și a capacității de producție; situația resurselor umane și financiare, relațiile cu consumatorii de bunuri și cu furnizorii de materii prime și eficiența acțiunilor declanșate prin decizii. Aceste informații sînt depozitate în banca de date sub forma de fișiere. Prin intermediul procedurilor se întrețin și se actualizează fișierele, se interoghează și se solicită date pentru raportare, se creează și se șterg fișiere pe probleme. Structura fluxului informatic se concepe în schemă ierarhică și se aplică decizional de la nivel strategic spre cel operativ și informațional de la nivel operativ la cel strategic.

8.1.2. Informatica ramurii și a întreprinderilor energetice

Informatica ramurii energiei electrice și termice are la bază schema sistemelor ierarhice de conducere a energeticii și cuprinde următoarele structuri:

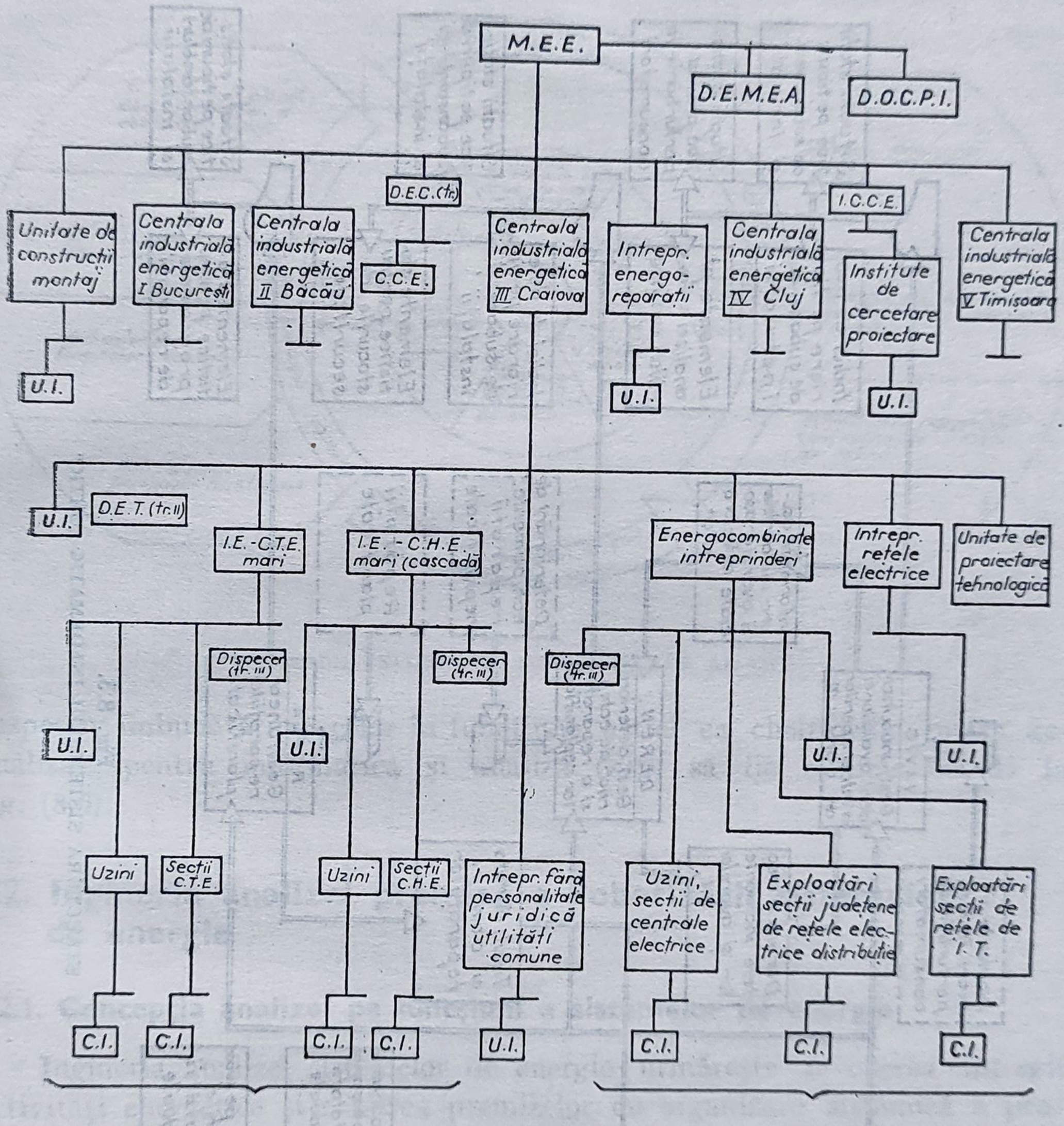
— Structura SIREET ca sinteză a informaticii întreprinderilor și sistemului energetic național.

— Structura GETIC pentru gestiunea regimurilor normale și de avarii ale sistemului energetic inclusiv reglementarea reparațiilor planificate și accidentale.

— Structura informatică a întreprinderilor de electrocentrale, a întreprinderilor de rețele electrice și a sectoarelor energetice din cadrul întreprinderilor industriale.

Schemele informatice pe cele trei nivele de conducere a întreprinderilor energetice, a sistemului energetic și a ramurii energiei electrice și termice se pot urmări pe figurile (8.2—3; —4—5).

Strúcturile informatice ale celor trei scheme ierarhice de conducere a energeticii sînt construite pe funcțiuni ale unităților industriale particularizate la nivelul proceselor energetice din cadrul fiecărui subsistem. În cadrul fiecărei structuri există o parte hard și una soft pentru echipamente și aplicații pe probleme. Atît la nivel local cît și la nivel ierarhic de conducere există bănci de date partiționate pe fișiere care se grupează pe probleme și funcțiuni ale sistemului cercetat. Aceste scheme informatice sînt cuplate sistemic și permit trecerea la implementarea în conducerea ramurii energetice a calculatoarelor de proces care conduc operativ întregul sistem și asigură atît fiabilitatea cît și economicitatea instalațiilor energetice și condiționează dezvoltarea în perspectivă a ramurii prin proiectarea și montajul optimal a obiectivelor energetice noi. Schema logică privind proiectarea structurii informatice



C.T.E și C.E.T. mari, C.H.E. mari, sau în cascadă, de bază pentru SEN sau alimentînd mari platforme industriale

C.T.E, C.E.T. și C.H.E. mici, izolate, de importanță locală, stații și rețele electrice.

Legenda

C.C.E. Centru de calcul electronic
U.I. Unitate de informatică
C.I. Colectiv de informatică

Fig. 8.2.

STRUCTURA ORGANIZATORICO-INFORMATICĂ LA NIVEL REET.

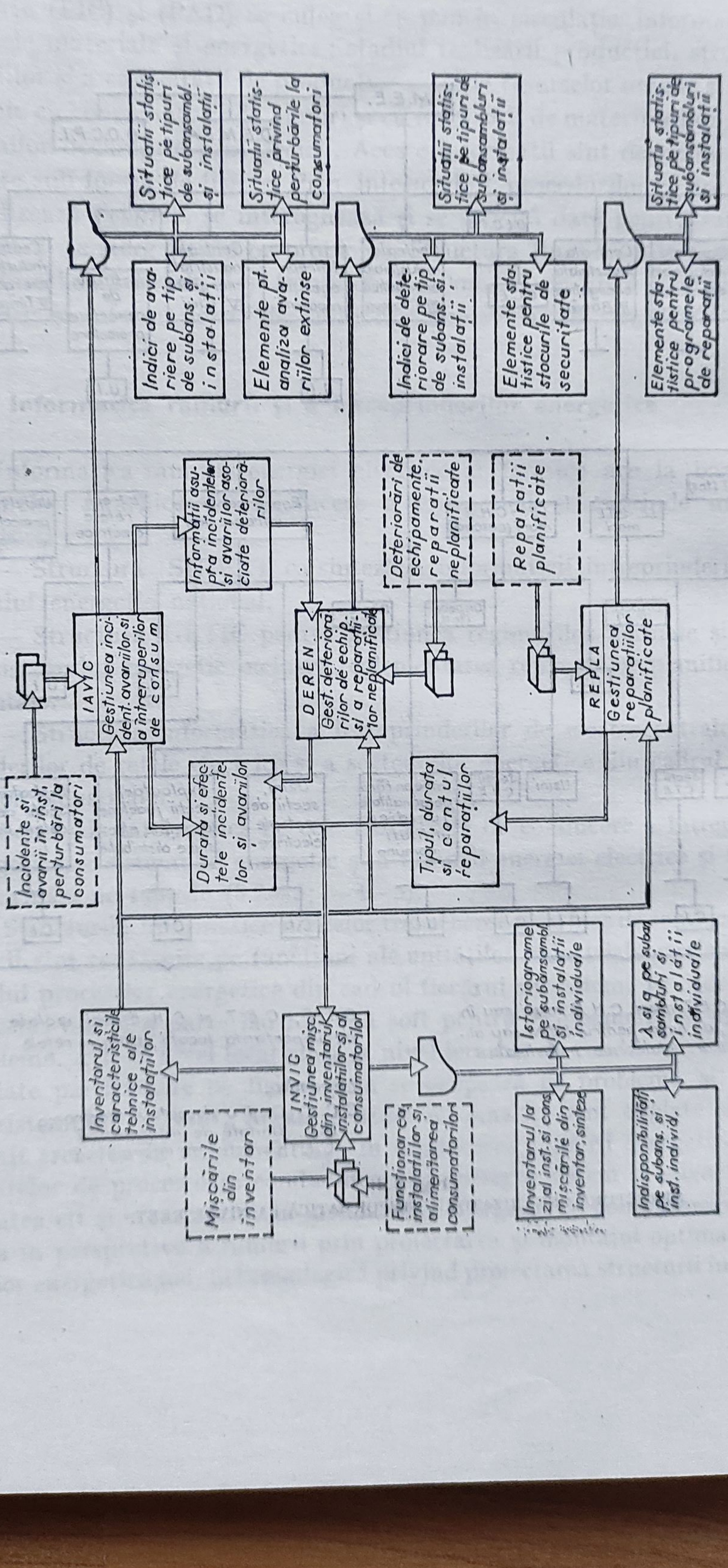


Fig. 8.3.
STRUCTURA SISTEMULUI INFORMATIC „GETIC"

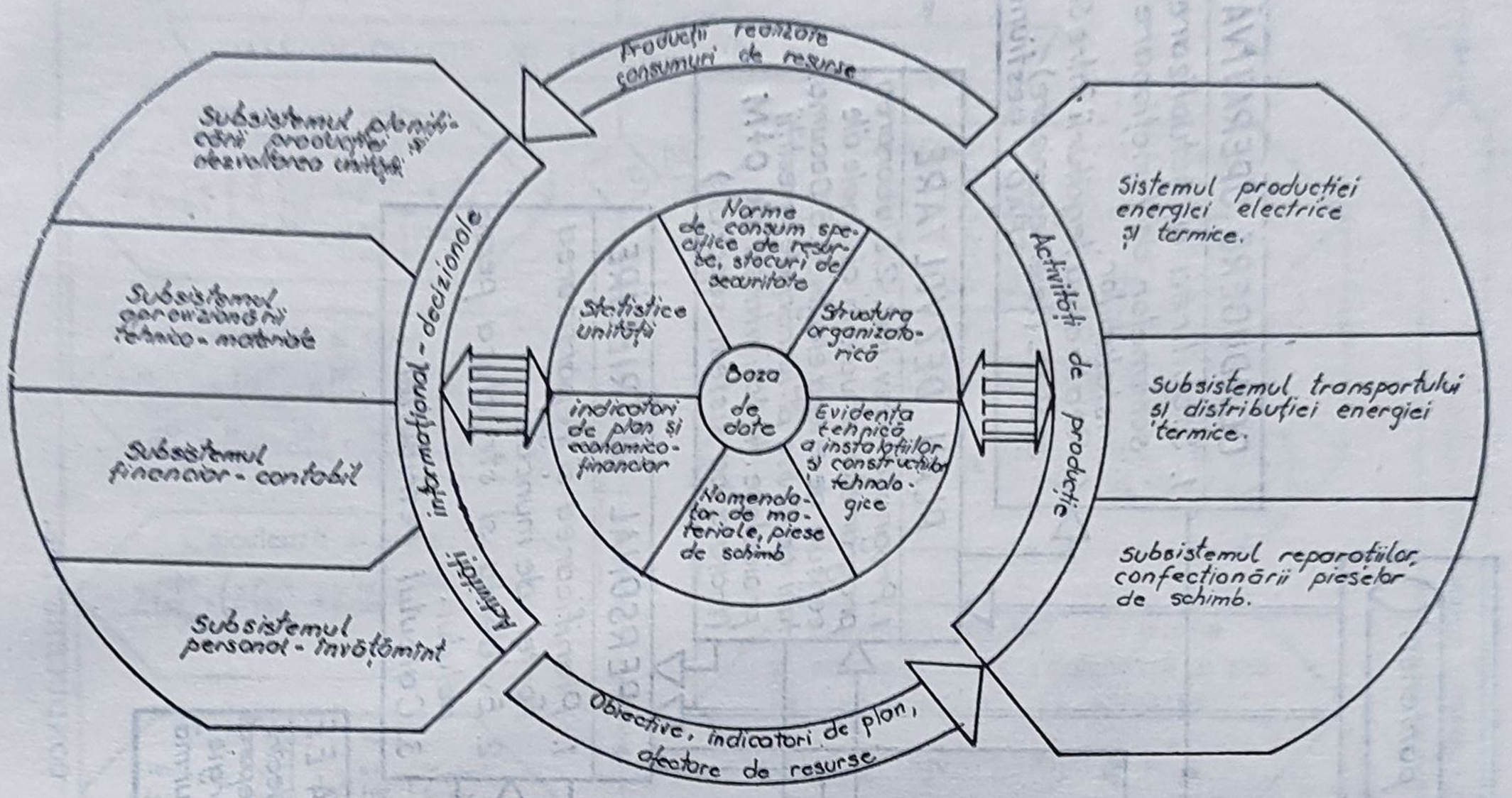


Fig. 8.4.
SISTEMUL INFORMATIC DE CONDUCERE AL CET.

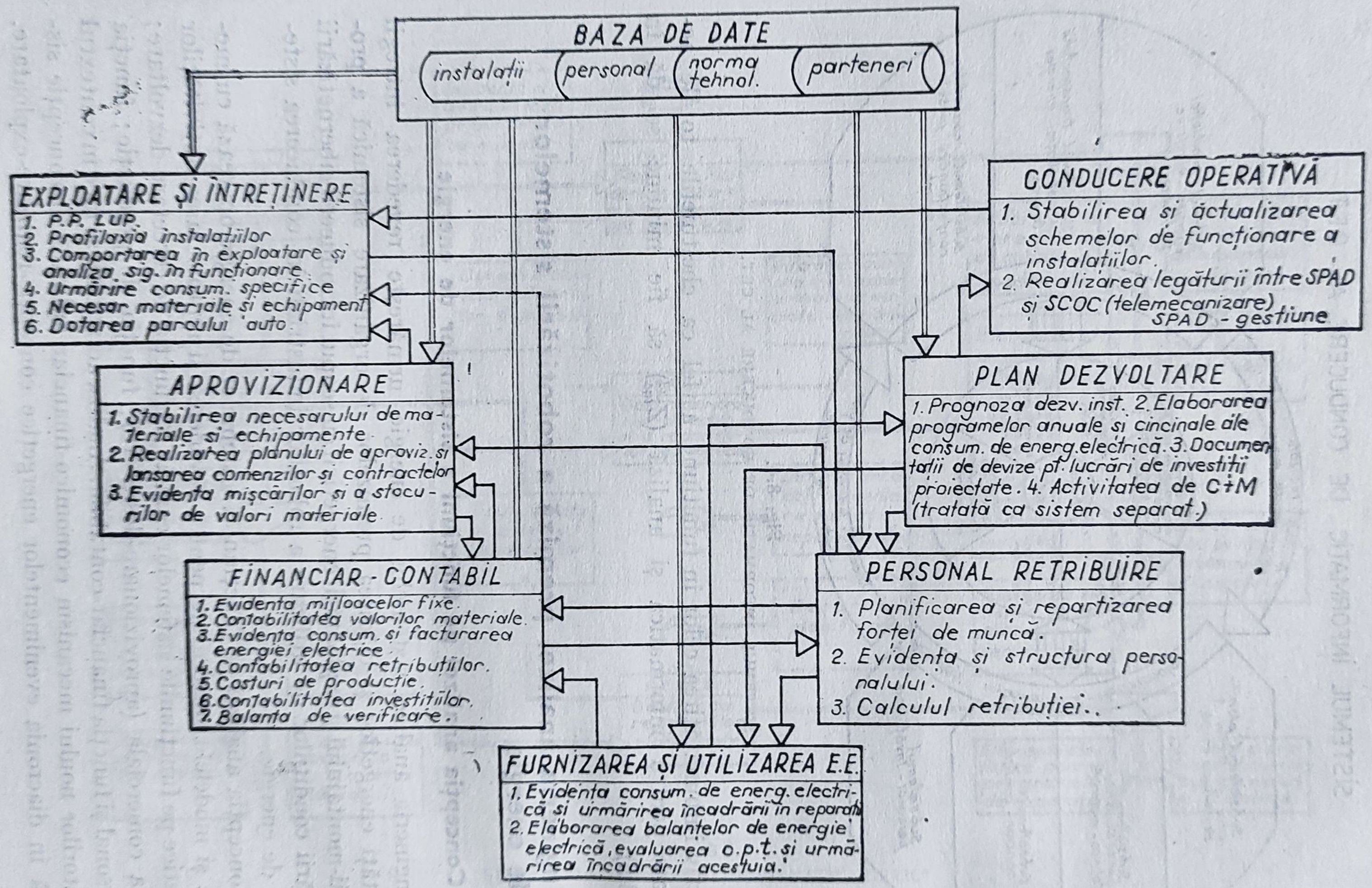
respectiv îmbunătățirea celor în funcțiune astfel ca cheltuielile totale actualizate pentru informatica și analiză (Z_{iac}^{iad}) să fie minime se dă în fig. (8.6).

8.2. Ingineria analizei premiză a robotizării sistemelor de energie

8.2.1. Concepția analizei pe funcțiuni a sistemelor de energie

Ingineria analizei sistemelor de energie urmărește revederea întregii activități energetice și clădirea premizelor de organizare sistemică a proiectării-montajului și exploatării energeticii cu scopul introducerii cibernetizării și creării condițiilor de utilizare a roboților industriali în conducerea sistemelor de energie.

Concepția analizei pe funcțiuni a sistemelor de energie operează cu metodele și modelele structurale pentru revederea și reproiectarea activităților energetice pe funcțiunile sistemelor cum ar fi: funcția de cercetare-dezvoltare; funcția comercială (aprovizionare-desfacere); funcția de producție; funcția de personal și funcția financiar-contabilă. Analiza activității se face în contextul indicatorilor noului mecanism economico-financiar aplicată în concepție sistemică în diacronia evenimentelor energetice concepție-realizare-exploatare.



.5.8 .giF

ORGANIZAREA SISTEMULUI INFORMATIC DE CONDUCERE IRE.

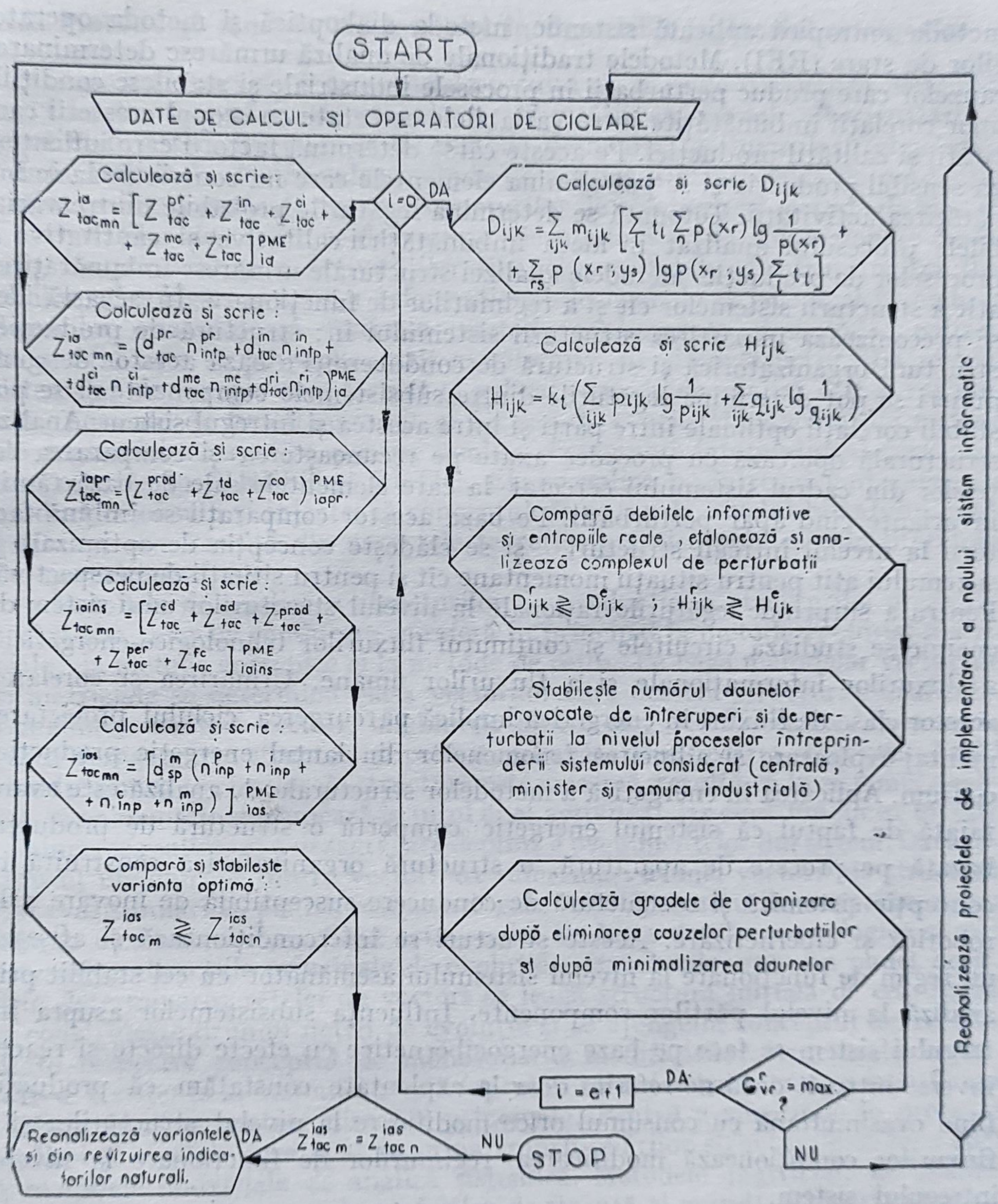


Fig. 8.6.
SCHEMA LOGICĂ DE CALCUL AL FLUXULUI INFORMATIC ÎN CONCEPȚIA SISTEMICĂ.

Dintre metodele de analiză a activității energetice, reținatenția metodele tradiționale de analiza bazată pe corelație și metodele analizei structurale bazate pe cercetări operaționale. Prima clasă de metode cuprinde în principal metoda diferenței; metoda variației concomitente; metoda rămășiței, metoda substituirii în lanț; metoda corelației și regresiei. A doua clasă, de metode cuprinde în principal: metoda vectorial-matricială de analiză structurală;

metoda entropică aplicată sistemic, metoda diakoptică și metoda operatorilor de stare (REI). Metodele tradiționale de analiză urmăresc determinarea cauzelor care produc perturbații în procesele industriale și stabilesc condițiile unor corelații îmbunătățite între variabilele cercetate cu scopul creșterii cantității și calității producției. Pe aceste căi se determină factorii care influențează sensibil producția și se pot elimina elementele care nu contribuie la îmbunătățirea activității. Totodată se determină legăturile probabile dintre variabilele procesului analizat în ideea îmbunătățirii calitative și cantitative a proceselor de producție. Metodele analizei structurale urmăresc îmbunătățirea atît a structurii sistemelor cît și a regimurilor de funcționare. În această idee se preconizează împărțirea structurii sistemului în: structură de producție; structură organizatorică și structură de conducere. Pe baza acestor descompuneri se pot determina legăturile dintre subsistemele componente și se pot stabili corelații optimale între părți și între acestea și întregul sistem. Analiza structurală operează cu procedee axate pe recunoașterea și compararea rețelelor din cadrul sistemului cercetat la care elementele sale de bază rămîn invariante cînd apar perturbații. Pe baza acestor comparații se îmbină factorii la nivelul întregii structuri și se clădește concepția de optimizare a sistemului atît pentru situații momentane cît și pentru situații de perspectivă. Pentru a surprinde legăturile raționale la nivelul structurilor unui sistem de energie se studiază circuitele și conținutul fluxurilor tehnologico-energetice; a fluxurilor informaționale și a fluxurilor umane. Urmărirea și corelarea acestor clase de fluxuri în energetică implică parcurgerea ciclului proiectare-montaj-exploatare și adîncirea fenomenelor din lanțul energetic producție-consum. Aplicarea în energetică a metodelor structurale de analiză este avantajată de faptul că sistemul energetic comportă o structură de producție bazată pe procese de aparatură, o structură organizatorică construită în concepție sistemică și o structură de conducere susceptibilă de inovare prin robotică și cibernetizare. Aceste structuri se intercondiționează și afișează un regim de funcționare la nivelul sistemului asemănător cu cel stabilit prin analiză la nivelul părților componente. Influența subsistemelor asupra întregului sistem se face pe baze energocibernetice cu efecte directe și reacții inverse întrucît dacă ne referim doar la exploatare constatăm că producția fiind cvasimultană cu consumul orice modificare la nivelul structurilor și a fluxurilor condiționează modificarea regimurilor de funcționare la nivelul întregului sistem.

Ingineria analizei sistemelor de energie urmărește construirea concepției de îmbunătățire a activității pe funcțiuni sub aspect tehnico-economic și creează totodată premizele ca pe baza organizării sistemice a producției să se treacă la cibernetizare și respectiv la robotizarea activităților de proiectare-montaj și exploatare a sistemelor de energie. Concepția de analiză sistemică se construiește pe cele cinci funcțiuni ale ansamblului și se aplică atît pe subsisteme cît și la nivelul întregului sistem.

8.2.2. Metode şi modele ale analizei în domeniul ingineriei energetice

Ingineria energetică face apel la o suită de metode de analiză sistemică în vederea organizării structurale a activităţii cu scopul cibernetizării şi robotizării sistemelor cum ar fi: metode de analiză a fluxurilor tehnologice şi informaţional - decizionale; metode de analiză a structurilor de producţie, a structurilor organizatorice şi a structurilor de conducere; metode de analiză a activităţilor de cercetare-dezvoltare, de producţie, de aprovizionare-desfacere, de personal şi a activităţilor financiar-contabile. Pentru analiza fluxurilor tehnologice şi a celor informaţional-decizionale se face apel la metoda fluxurilor orizontale şi verticale; metoda aval-amonte şi metoda analizei-diagnostic care se pot aplica atît ameliorativ cît şi constructiv. La nivelul sistemelor de energie s-au format şi aplicat metode de analiză atît a regimurilor normale de funcţionare cît şi a celor de avarii. Mănunchiul de metode ale ingineriei energetice pentru analiza sistemului informaţional-decizional este cuprins în SIREET şi GETIC. Ele se aplică pe întregul lanţ energetic producţie-consum şi injectează conceptul de optim la nivelul bilanţului energetic aşa cum rezultă din aspectele teoretico-practice publicate în literatura de specialitate [75].

Metodele de analiză a structurilor de producţie, a structurilor organizatorice şi a celor de conducere se referă în principal la metode vectorial-matriciale; la metode entropice şi la metode de reţea. Pe baza metodelor vectoriale şi matriciale se determină clasa vectorilor care descriu structurile analizate. Lungimea acestor vectori, unghiurile dintre ele, sensibilitatea lor la agregarea-dezagregarea structurilor permit îmbunătăţirea fiecărei structuri. Astfel cînd lungimea vectorilor de structură este maximă rezultă că în sistemul analizat, evenimentele se grupează în jurul unei activităţi, iar cînd lungimea lor este minimă, se realizează o dezagregare deplină a evenimentelor din sistem. Dacă cosinusul unghiurilor dintre vectori are valori mari atunci vectorii de structură sînt cvasisimilari iar pentru cosinusuri egale cu $(\pi/2)$ structurile comparate nu au nici un element conum fiind ortogonale. Pe baza datelor cronologice se pot determina direcţiile principale de evoluţie a structurilor spre un punct dorit. Prin determinarea reţelei de vectori ce leagă structura iniţială de cea finală se construieşte drumul neted de evoluţie şi se ajunge la conceptul de regularitate respectiv conceptul de monotonie a modificărilor structurale conservative. Existenţa monotoniei atestă faptul că nu se fac transformări în sistemul analizat în sens contrar direcţiei principale. Pentru a surprinde în procesul analizei şi efectele care apar în urma transformărilor structurale se face apel la metodele matriciale de analiză sistemică. Metodele matriciale de analiză sistemică operează cu teoria grafurilor de fluenţă şi permit evidenţierea legăturilor dintre subsistemele cercetate, înlesnesc determinarea numărului şi a importanţei conexiunilor în evoluţia dinamică a sistemelor studiate. Operativ se elaborează graful unor clase de activităţi şi se asociază fiecărui graf o matrice a legăturilor şi conexiunilor interne. Pentru a stabili clasa de modificări a structurii analizate se calculează indicii de centralitate şi periferism precum şi puterile de iteraţie a fiecărei variante. Dacă acestea au valori maxime atunci activitatea se grupează în jurul punctului central de lucru şi structurile se modifică corespunzător. Aplicarea acestei metode la îmbunătăţirea acti-

vității din cadrul unei centrale electrice arată că maximum de centralitate gravitează în jurul inginerului șef de producție ceea ce reclamă concentrarea eforturilor în această direcție. Întocmirea matricii binare care redă legăturile dintre subsistemele unei centrale electrice presupune cunoașterea tipurilor și intensităților de conexiuni existente la nivelul sistemului analizat. În această perspectivă deosebim următoarele tipuri de conexiuni: conexiuni de interacțiune; conexiuni de generare; conexiuni de funcționare; conexiuni de transformare; conexiuni de dezvoltare și conexiuni de organizare — conducere în care se dezvoltă conexiunile de cibernetizare-robotizare. Deci conexiunile se pot grupa în două mari clase și anume: clasa conexiunilor structurale și clasa conexiunilor comportamentale. Conexiunile structurale rămîn stabile cît timp nu se modifică structura, iar cel comportamentale nu se schimbă cît timp durează un anumit proces. Conexiunile specifice procesului, inclusiv cele legate de dezvoltare, respectiv cele de organizare-conducere sînt conexiuni comportamentale.

Metodele de analiză vectorial-matricială permit stabilirea legăturilor cantitative dintre subsistemele ansamblului cercetat. Pentru a surprinde aspectele calitative ale conexiunilor și pentru a exprima gradul de organizare a structurilor se face apel la clasa metodelor entropice. Metodele entropice operează cu conceptele de entropie și energie informațională. Entropia permite cuantificarea stărilor de incertitudine pe baza informațiilor obținute din analiza sistemului cercetat. Entropia reflectă perturbațiile de la nivelul fiecărui eveniment respectiv fenomen din cadrul structurii sistemului. Ea se poate calcula cu formula Shanon cunoscînd stările de succes și insucces ale instalațiilor energetice. Dacă entropia sistemului este minimă iar energia informațională maximă rezultă un grad maxim de organizare al structurii cercetate. Metoda stărilor entropice permite compararea structurilor întreprinderilor cu profil similar cît și a celor cu profil oarecare mai ales sub aspectul organizării activității pe funcțiuni și pe ansamblu. Structurile se pot organiza sistemic prin eliminarea perturbațiilor care provin fie din proces: fie din afara lui. Aplicarea în practică a metodei entropice permite determinarea gradului de concentrare-diversificarea activității la nivelul structurilor complexe; calcularea gradului de eficiență a structurilor pe faza conceptului entropic cu ponderi; stabilirea structurii optimale a sistemelor ierarhice pe baza gradului de organizare. Gradul de organizare se calculează raportînd entropia etalon la entropia momentană. Entropia etalon se calculează cu o relație similară cu cea a entropiei momentane dar se consideră că perturbațiile sînt reduse la minimum posibil.

Dintre metodele de rețea aplicate în domeniul ingineriei energetice a sistemelor mari reținatenția clasa de metode deterministe și clasa de metode probabiliste. O variantă a combinațiilor de metode din cele două clase o formează metoda drumului critic. Pentru aplicarea acestei metode se elaborează graful rețea al evenimentelor și se calculează duratele activităților. Se determină programul majorant și programul minorant de lucru parcurgînd graful în sens direct și invers. Astfel se determină drumul maxim în graf denumit și drum critic. Drumul critic reunește operațiile fără rezervă de timp. După determinarea duratei drumului critic se stabilește riscul executării programului și costul acestuia cunoscînd resursele disponibile. Costul întregului

program se determină cu ajutorul cercetării operaționale în condiții de cibernetizare a activității energetice. Metodele de analiză a activității pe funcțiuni ale sistemelor de energie sînt în principal următoarele: metoda ingineriei și analizei valorii aplicabile la nivelul funcției de cercetare-dezvoltare; metoda funcțiilor de producție și metoda operatorilor de stare aplicabile în cadrul funcțiilor de producție; metoda ingineriei umane aplicabilă la nivelul funcției de personal; metoda stocurilor și metoda învățării aplicate la nivelul funcției de aprovizionare-desfacere, metoda beneficiului și rentabilității maxime aplicabilă în cadrul funcției financiar-contabile. La aceste metode generale de analiză a sistemelor complexe se mai adaugă metoda diakoptică; metoda operatorilor de stare (REI); metoda modală de analiză a activității energetice aplicată în concepție sistemică.

Modelele de analiză ale sistemelor de energie sînt cele de armonizare a resurselor cu obiectivele, modele ale balanței legăturilor dintre ramuri și modele ale cercetării operaționale. Modelele de armonizare pot fi de armonizare globală și totală. Modelele balanței legăturilor dintre ramuri sînt de tip Leontief-Minkovsky și pot avea caracter static și dinamic. Modelele cercetării operaționale sînt deterministe și probabiliste și se aplică pe funcțiuni astfel: modelele de prognoză și căutare se aplică la cercetarea și dezvoltarea activității; modelele de stoc-așteptare și cele de marketing se aplică în cadrul funcției comerciale (aprovizionare-desfacere); modelele de ordonanțare-echipamente se aplică la organizarea producției; modelele ingineriei umane își găsesc aplicabilitate în cadrul funcției de personal; modelele ale ingineriei valorii și modelele de decizie se aplică în cadrul funcției financiare-contabile. Analiza pe funcțiuni a activității sistemelor de energie urmărește creșterea productivității muncii în condițiile creșterii calității și cantității producției industriale. Concomitent cu acest deziderat se urmărește ca energia înglobată în produsul industrial să scadă continuu. Aceasta se poate realiza prin introducerea tehnologiilor de vîrf pe de o parte și prin cibernetizarea inclusiv robotizarea activităților de producție, de organizare și de conducere strategico-tactică a întregului sistem pe baza conceptelor de calitate-fiabilitate-eficiență, pe de altă parte.

8.3. Decizii în sisteme informatizate de energie

8.3.1. Modele matematice de decizie sistemică

Pe baza sistemelor informatice, proiectate și implementate, se trece la construirea inginerească a deciziei energetice cu ajutorul modelelor cercetării operaționale cu scopul obținerii variantei optime de concepere și de montaj-exploatare a obiectivelor energetice atît tehnologic cît și sub aspectul organizării respectiv conducerii cibernetice a întregii activități.

Schema logică și structura matematică a modelelor de decizie se pot urmări pe figura (8.7).

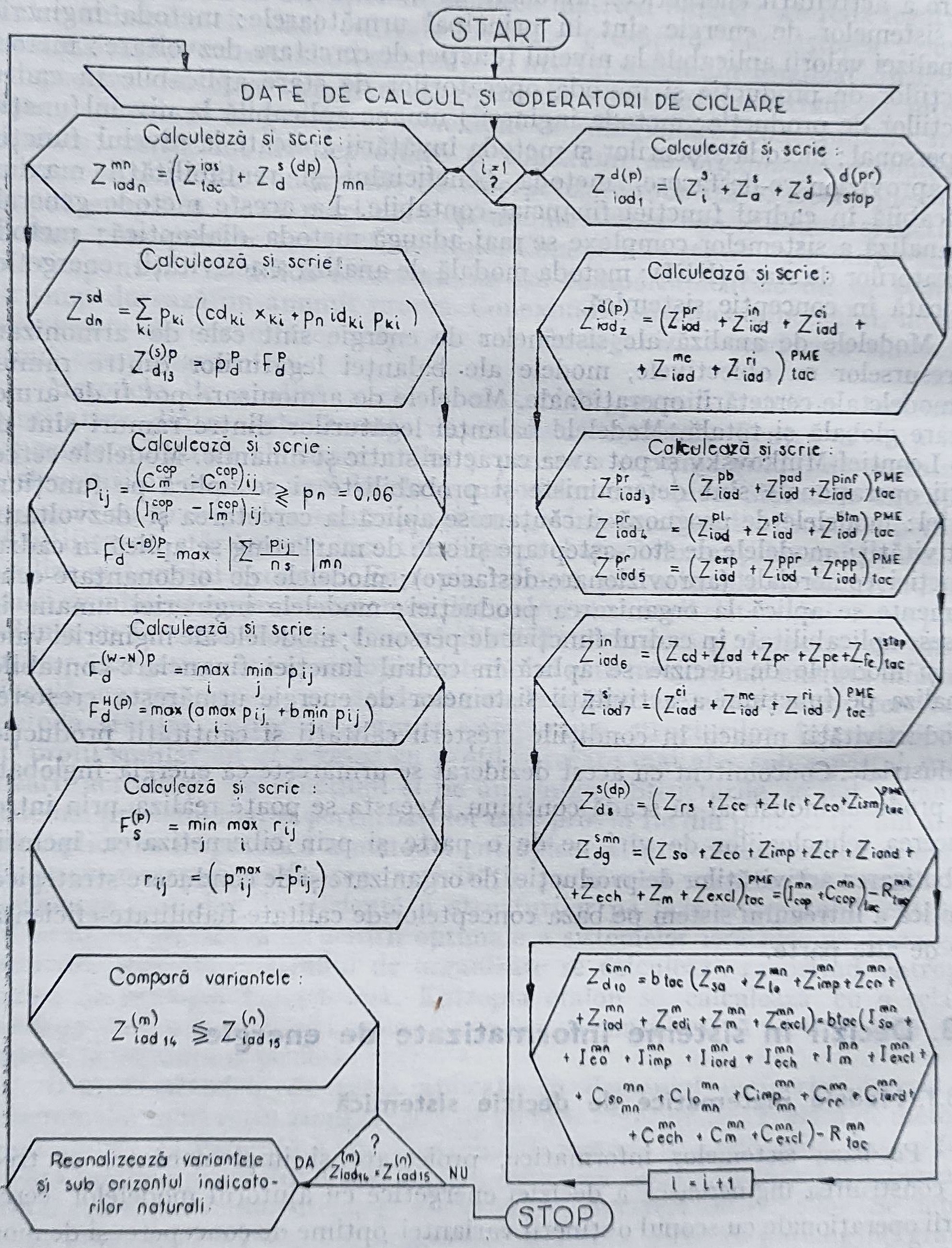


Fig. 8.7.

SCHEMA LOGICĂ DE CONSTRUIRE ȘI CUANTIFICARE A DECIZIEI ÎN CONCEPȚIE SISTEMICĂ.

Ingineria matematică a deciziei are la bază următoarele modele de optimizare a activității energetice:

$$Z_{iad_1}^{d(p)} = (Z_i^s + Z_a^s + Z_d^s)_{stop}^{d(p)}; \qquad Z_{iad_2}^{d(p)} = (Z_{iad}^{pr} + Z_{iad}^{in} + Z_{iad}^{ci} + Z_{iad}^{me} + Z_{iad}^{ri})_{tac}^{PME}$$

$$Z_{iad_3}^{pr} = (Z_{iad}^{pb} + Z_{iad}^{pad} + Z_{iad}^{pinf})_{tac}^{PME}; \qquad Z_{iad_4}^{pr} = (Z_{iad}^{pl} + Z_{iad}^{pt} + Z_{iad}^{btm})_{tac}^{PME};$$

$$Z_{iad_5}^{pr} = (Z_{iad}^{exp} + Z_{iad}^{ppr} + Z_{iad}^{rpp})_{tac}^{PME} \qquad Z_{iad_6}^{in} = (Z_{cd} + Z_{ad} + Z_{pr} + Z_{pe} + Z_{fc})_{tac}^{stop};$$

$$Z_{iad_7}^{s} = (Z_{iad}^{ci} + Z_{iad}^{me} + Z_{iad}^{ri})_{tac}^{PME} \qquad Z_{d_8}^{s} = (Z_{rs} + Z_{ce} + Z_{lc} + Z_{co} + Z_{ism})_{tac}^{PME};$$

$$Z_{d_9}^{smn} = [Z_{sa} + Z_{eo} + Z_{imp} + Z_{cr} + Z_{iav} + Z_{ech} + Z_m + Z_{cx\,cl}]_{tac}^{PME} =$$

$$= [(I^{mn} + C^{mn})_{tac} - R_{tac}^{mn}] = \text{minim}$$

10

$$Z_{iad_{10}}^{smn} = \sum_{i=1} Z_{cop_{itac}} = [b_{tac}(I_{cop}^{mn} + C_{cop}^{mn}) - R_{tac}^{mn}] = \text{minim}$$

$$Z_{iad.11}^{m.n} = (Z_{tac}^{iad} + Z_d^{s(d)(p)}) = p_d^p F_d^p = f\left[p_{ij} = \frac{C_m - C_n}{I_n - I_m}\right]$$

în care: $Z_{iad}^{d(p)}$ = cheltuielile pentru ciclul (iad) informare-analiză-decizie deterministe (d) și probabiliste (p) pentru nivelele strategic, tactic, operativ (stop) scrise pentru procese energetice (pr); întreprindere (in); centrală industrială (ci); minister economic (me) și ramură industrială (ri) care trec prin fazele proiectare-montaj-exploatare (PME) și sînt actualizate (tac). Se iau în considerație procesele de bază (pb), cele auxiliare (pad) și cele informaționale (p inf) care se proiectează logic (pl); tehnic (pt) și sub aspectul bazei tehnico-materiale (btm). Se are în vedere experimental (exp), pregătirea personalului (ppr) inclusiv realizarea parametrilor proiectate (rpp). Cheltuielile la nivelul întreprinderii se totalizează pe funcții: cercetare-dezvoltare (cd); aprovizionare-desfacere (ad); producție (pr); personal (ps) și financiar-contabilă (fc). Pentru sistemul energetic cheltuielile se totalizează pe resurse (rs); pe centrale (ce); pe lanțuri energetice (ls), pe consumatori (co) și la interfața sistem-mediu (ism). Soluțiile comparate (m, n) beneficiază de cercetarea operațională stoc-așteptare (sa); echipamente-ordonanțare (eo), inginerie-umană-prognoză (imp); căutare-risc (cr); ingineria valorii-decizie ($iavd$); cheltuieli de echivalare (ech); cele miniere (m) și cele conexe-colaterale ($cxcl$) scrise ca suma de investiții ($I_{cop}^{m.n}$) și cheltuieli ($C_{cop}^{m.n}$) din care se scade valoarea remanentă R_{cop}^{mn} actualizată; F_d^p = funcția matematică a deciziei de tip Laplace-Bayes (L—B); tip Wald-Newmann (W—N); tip Hurwicz (H) și tip Savage (S). p_d^p = = probabilitatea reallizării acestor funcții probabiliste (p); $\| r_{ij} \|$ = matricea regretelor.

Ingineria sistemelor informatico-decizionale abordează în concepție sîstemică strategia construirii atît a bazei de date cît și a modelelor de decizie. Astfel se prezintă algoritmele de proiectare a părților hard și soft integrate sistemic la toate nivelele ierarhice de conducere și organizare atît a tehnologiei cît și a organizării obiectivelor energetice. Algoritmul informatico-decizional permite traversarea în concepție a întregului sistem cercetat începînd cu proiec-

tarea și montajul obiectivelor și continuînd cu exploatarea-dezvoltarea instalațiilor în perspectiva extinderii sistemelor mari. Modelele de decizie au formă agregat și înlesnesc prin schemele logice (8—6—7) găsirea variantei optime de concepere și realizare a sistemelor energetice pe baza conceptelor și principiilor energocibernetici cu scopul conservării și economisirii eficiente a tuturor formelor de energie.

8.3.2. Decizii în sisteme informatizate de energie

Sistemele mari în etapa actuală sînt supuse unor transformări structurale continue și variate. Aceste transformări în tehnologie, în conducere-organizare bazate pe automatizări suple, pe cibernetică, pe microelectronică, pe microprocesoare și pe dispozitive dotate cu inteligență artificială jalonează drumul către formarea sistemelor informatizate. Sistemele înzestrate cu un tezaur bogat de informații care beneficiază de un set de modele matematice agregat ce pot reflecta activitatea tehnologică și de organizare-conducere înzestrate cu „inteligență artificială" sub forma automatizărilor suple concretizate în robotică și cibernetică industrial-economică și care respectă principiile sistemelor mari sînt denumite sisteme informatizate. În sisteme informatizate tezaurele de informații se reorganizează trecîndu-se de la depozite în memorii externe calculatoarele la culegerea datelor cu ajutorul terminalelor care după prelucrare le transmit direct în baza de date.

Pentru modelarea sistemelor informatizate se utilizează două tipuri de modele și anume: modelul procesului și modelul coordonator. Primul este format dintr-o suită de modele multinivel (modelele la nivelul fiecărui subsistem) interconectate iar al doilea este un model puternic agregat. Principiile care coordonează activitatea sistemelor informatizate sînt în principal următoarele: principiul incertitudinii; principiul optimizării; principiul complementarității sau al excluziunii și principiul coordonării. Enunțul principiului incertitudinii; starea unui sistem decompozabil în subsisteme interconectate și interacțiunea cu subsistemele componente pot fi determinate simultan numai pînă la un anumit grad de precizie. Principiul de optimalitate se anunță astfel: dacă un sistem informalizat compus din mai multe subsisteme interconectate și un sistem coordonator este optimal atunci toate subsistemele componente sînt optimale în interacțiune. Dacă cel puțin unul din subsistemele componente nu este optimal în interacțiune atunci nici sistemul în ansamblu nu este optimal. Principiul complementarității are următorul enunț: pe măsură ce complexitatea unui sistem reprezentat prin model crește, precizia și relevanța acestuia ating un nivel la care ele se exclud reciproc. Principiul coordonării se enunță astfel: reglarea descentralizată poate fi aproape la fel de bună ca și reglarea centralizată cu condiția să existe un sistem coordonator care să asigure coordonarea subsistemelor ierarhizat pe mai multe nivele.

În sistemele complet informatizate decizia este automatizată, procesele sînt conduse în timp real de către roboți care lucrează după programele elaborate de om și care este în dialog permanent cu calculatorul de proces. Automatizarea prin program a fost denumită automatizarea informatică care se poate extinde în structurile ierarhice distribuite pe două bucle de reacție.

În prima buclă apar roboți distribuiți la nivelul proceselor tehnologice iar în bucla a doua apar automate și programe informatice care coordonează activitatea de execuție a deciziilor construite de om. Deciziile în sistemele informatizate pot opera cu modele probabiliste pentru situații semiprogramate și neprogramate. Asemenea situații apar la nivelul sistemelor de energie în caz de avarie și în cazul abordării unor probleme noi de concepție, de montaj și de exploatare a instalațiilor energetice. Pentru asemenea situații se elaborează tipuri speciale de sisteme informatico-decizionale și anume: sistem informatic-decizional pentru activitatea de concepție-proiectare; sistem informatic-decizional pentru activitatea de montaj și sistem informatic-decizional pentru activitatea de exploatare-dezvoltare. În sistemele informatizate documentația de proiectare se poate transmite direct la locul de execuție cu ajutorul ecranelor de vizualizare fără proiecte și desene intermediare. Pe această cale se creează sisteme de proiectare-producție denumit (PAC/PAC) adică proiectare asistată de calculator respectiv producție asistată de calculator. Dacă se urmărește realizarea uui sistem integrat proiectare, producție-gestiune (SIPPG) atunci trebuie să se facă apel la concepția sistemică de abordare a acestor clase de activități. În această perspectivă munca lucrătorilor se mută spre display pentru urmărirea operativă a tuturor activităților. Totodată operatorul uman poate construi decizii calitative pentru dezvoltarea strategiei inițiale, stabilind indici de performanță pe baza situațiilor noi care apar în evoluția noului sistem. La construirea deciziilor operatorul uman obține din rețeaua informatizată date prelucrate cu caracter predictiv ceea ce generează premizele unor posibilie decizii.

În sistemele informatizate transformarea deciziilor în acțiuni se face cu ajutorul roboților. Robotul este un dispozitiv cu funcționare automată adaptivă (prin reprogramare) condițiile unui mediu complex, variabil, inlocuind sau amplificînd una sau mai multe funcții umane în acțiunile acestuia asupra mediului. Roboții se construiesc pe funcții de execuție specializate astfel ca eficiența lor să fie maximă și sînt reprezentați prin următoarele tipuri de instalații: instalații robot tip manipulator cu trei grade de libertate dispunînd de un sistem rigid de programare; instalație robot tip manipulator-programabil cu șase grade de libertate putînd repeta fidel operațiile învățate de la lucrătorul care le executa prima dată; instalație robot cu buclă închisă dispune de dispozitive senzoriale și sistem de comandă capabile să interpreteze și să acționeze la diverse semnale.

După sistemul de comandă deosebim: robot programabil cu dispozitiv de memorie care permite modificarea programului; robot cu microcalculator incorporat; robot cu sensori de orientare în spațiu și cu sensuri tactili care concluzionează cu mediu prin microcalculator; robot cu funcții sensoriale dezvoltate care-i permit o mișcare adaptivă în orice direcție sub controlul unui microcalculator; robot înzestrat cu dispozitive de „inteligență artificială" care își poate decide comportarea prin capacitatea de a recunoaște condițiile din mediul încononjurător. Roboții transformă decizia în acțiune după programe construite de om. Pînă în prezent se cunosc patru generații de roboți (1,5; 2; 2,5; 3). Generația 1,5 dispune de comanda sensorială-tactilă iar generația

a doua este înzestrată cu capacitate de comandă a mișcărilor pe baza percepției vizuale. Generația 2,5 dispune de o coordonare ochi-braț, cuplată cu comanda sensorială. Generația a treia de roboți disune de „inteligență artificială" necesară înțelegerii comenzilor umane exprimate prin limbaj natural. Această generație se poate adapta situațiilor imprevizibile prin construirea soluției de acționare într-un mediu parțial cunoscut. Roboții permit o sporire a productivității muncii cu circa 300% și înlesnesc scăderea forței de muncă ocupate în sectoarele cu condiții nocive și periculoase de lucru. Pe plan mondial, Japonia deține prioritatea cu 10^6 roboți în funcțiune după care urmează S.U.A. cu 50 000 Europa Occidentală cu 25 000 și U.R.S.S. cu 15 000. Utilizarea roboților în industrie imprimă mutații severe în structura forței de muncă atît la nivelul executanților cît și la nivelul cadrelor medii de conducere. Robotica reclamă intelectualizarea muncii astfel ca prin gîndire să se economisească atît resursele atît și efortul depus de om în activitățile de rutină. Omul comunică prin programe mașinilor ce și cum trebuie să îucreze astfel ca efectul util să fie maxim. Muncitorii își vor schimba specificul muncii de circa patru ori în perioada activă datorită concurenții roboților. Robotizarea va determina o mutație a forței de muncă din producție spre zona serviciilor astfel ca în jurul anului 2000 numai 10% din totalul forței de muncă va fi ocupată în industrie. Dezvoltarea roboților este favorizată de succesele obținute atît în proiectarea și realizarea microprocesoarelor modularizate de mare putere la costuri mici cît și în conceperea unor programe de mare eficiență. Astfel în prezent un robot industrial poate înlocui munca a șase muncitori calificați. Este mai mult decît probabil ca în viitor întreprinderile să fie fără personal uman și să lucreze sub directa îndrumare operativă și tactică a roboților industriali coordonați de un grup restrîns de oameni care concep și urmăresc programele decizionale.

Ipostaza tehnologică a sistemelor informatizate o constituie în principal microprocesorul și cibernetica industrială. Un microprocesor modern are dimensiunile unei cutii de chibrituri sau mărimea unei tabachere fiind capabil să recunoască formele cu ajutorul dispozitivelor vizuale, să identifice vocea umană, să sintetizeze vorbirea omului și să înțeleagă limbajul natural ceea ce îi conferă funcții similare dar nu identice cu ale creierului uman. Capacitatea de înmagazinare a informației la unele supercalculatoare miniaturizate a ajuns la zece circuite pe cm^2 și va crește pînă în 1990 la 10^5 circuite pe cm^2 cu perspectiva de-a egala limita memoriei umane de 10^8 circuite pe cm^2. Puterea de calcul a instalației existente este de 10^{13} comutații pe secundă ceea ce depășește memoria umană care este de 10^{12} comutații pe secundă. În privința vitezei de calcul omul cu 10^2 cicluri pe secundă a fost depășit de calculatorul miniaturizat care atinge 10^8 cicluri pe secundă. Microprocesoarele vor grăbi integrarea masivă a sistemelor cibernetice în producție pe baza „mașinilor inteligente". Într-un viitor nu prea îndepărtat vom asista la naș-terea unor dispozitive etnotronice cum ar fi: mașină-proiectant; mașină medic; mașină-student; mașină-profesor ca un nou stadiu al învățămîntului programat.

Implementarea sistemelor cibernetice la nivelul întreprinderilor industriale va permite controlul activității cu ajutorul calculatoarelor rămînînd ca omul să creeze programe de calcul și să conceapă prin decizii novatoare dezvoltarea întregului sistem informatizat. Tehnica de control în astfel de

sisteme se afișează pe două direcții și anume: direcția ierarhică și direcția paralelă. În primul caz sistemul acceptă la fiecare nivel deciziile ierarhice superioare și după defalcare le remite nivelelor ierarhice inferioare. În cazul al doilea sistemul cu reacție prin sensori reduce la fiecare treaptă ierahică datele de intrare la forma necesară și utilă treptei care urmează pe baza ierarhiei de comandă. În ambele situții decizia trebuie să ajungă în cel mai scurt timp la cel mai coborît nivel ierarhic. În sistemele industriale a crescut de circa cinci ori raportul performanță-cont la nivelul ehipamentelor de calcul. Valoarea parcului de calculatoare va fi în 1988 în S.U.A. de circa $100 : 10^9$ dolari, în Europa Occidentală de $50 \cdot 10^9$ dolari în țările socialiste de $15 \cdot 10^9$ dolari. Numărul microprocesoarelor era în 1980 pe plan mondial $100 \cdot 10^6$ unități și are tendința de dublare pînă în 1986. Cibernetizarea producției cu ajutorul calculatoarelor va determina schimbări profunde care pot fi stăpînite numai dacă se reduce asimetria dintre organele de decizie și cei afectați de acțiunile declanșate prin sistemul decizional. În sistemele mari microprocesoarele vor avea în faza informatizării același rol pe care l-a avut electricitatea în faza industrializării.

Problema informatizării sistemelor mari din țara noastră trebuie rezolvată în două etape. În prima etapă se impune continuarea industrializării ramurilor economiei naționale iar în etapa a doua trebuie intensificat ritmul introducerii microelectronicii, calculatoarelor, ciberneticii și roboticii, cu scopul reducerii decalajelor față de alte sisteme similare. Prin informatizare trebuie mărită exploatarea intensivă a resurselor astfel ca sistemul nostru în ansamblu să atingă nivelul impus de dezvoltare la timpul planificat. Acest deziderat se poate realiza prin perfecționarea procesului de decizie prin care să înlesnească reînnoirea rapidă a tehnologiilor existente cu cele informatice, să promoveze stimulente materiale eficiente astfel ca inovarea întregii activități să permită creșterea rodniciei muncii în toate sectoarele de activitate. Informatizarea cere un sistem decizional care să lege sistemele de valori de sistemele de acțiune astfel ca eficiența întregului sistem să crească de la un an la altul.

Informatizarea sistemelor industriale românești reclamă realizarea următoarelor sarcini: crearea de sisteme pentru conducerea ierarhizată a unităților industriale; conceperea unor sisteme eficiente pentru conducerea proceselor energotehnice; extinderea unor sisteme de conducere în profil teritorial și la nivel de județ; lărgirea sferei de aplicații a programelor pe probleme de proiectare-gestiune-producție; conceperea unor sisteme cibernetice bazate pe informatică, calculatoare, automatizări suple care să permită valorificarea la maximum a tuturor resurselor în prezența factorului uman; realizarea și răspîndirea microprocesoarelor și a roboților industriali; introducerea conducerii adaptive în structuri ierarhizate și realizarea coducerii automate integrate cu ajutorul roboților industriali „inteligenți"; conceperea sistemelor din ingineria cunoașterii prin realizarea dispozitivelor de tip expert și prin implementarea limbajului natural; extinderea programelor informatice tipizate pe probleme utilitare și a programelor de realizare a produselor-program; introducerea programelor de asistare informatică a proceselor decizionale. În domeniul energetic este necesar să se treacă la informatizarea dispecerilor energetici și să se elaboreze aplicații informatico-decizionale care pot funcționa

în timp real pentru urmărirea consumurilor și pentru optimizarea regimurilor de funcționare a centralelor și rețelelor din sistemul energetic național. Informatizarea se impune cu prioritate în următoarele domenii din energetică: asigurarea resurselor primare și creșterea gradului intensiv de folosire a acestora; diversificarea bazei energetice a țării și urmărirea strictă a consumurilor în vederea conservării și a economisirii tuturor formelor de purtători energetici; ridicarea nivelului tehnic și calitativ al producției, creșterea productivității muncii și perfecționarea sistemului de decizii. Deciziile în sistemele de energie se pot îmbunătăți prin constituirea unui tezaur activ de date; realizarea unor sisteme eficiente de prelevare, prelucrare și transmitere în timp real a informațiilor și conceperea unor modele agregat pentru optimizarea procesului de decizie. Informatizarea permite o concentrare a tehnologiei informatice în puține centre de decizie ceea ce creează primizele un control eficient a activității și o apreciere pertinentă a rezultatelor obținute în sistemele mari conduse în timp real. Informatizarea se poate realiza fie prin preluarea tehnologiilor noi fie prin crearea prin efort propriu a conținutului noilor tehnologii informatice sau pe ambele căi.

Dezvoltarea sistemelor informatico-decizionnale în țara noastră se prezintă astfel:

1) Etapa (1967 ... 1970) a favorizat dezvoltarea tehnicii de calcul pe baza cercetărilor proprii pentru fabricarea echipamentelor și a programelor de aplicații.

2) Etapa (1971 ... 1975) s-a caracterizat prin dotarea economiei cu calculatoare electronice de capacitate medie (Felix C-256) fabricate în țară și crearea atît a centrelor teritoriale de calcul cît și a bibliotecii naționale de programe.

3) Etapa (1976 ... 1980) a început cu diversificarea dotării cu calculatoare a economiei și a continuat cu implemetarea proiectării asistată de calculator a instalației industriale și a celor energetice. În acest interval de timp s-a dezvoltat familia de calculatoare de capacitate medie Felix C-512/1024 și familiile de calculatoare Felix M-100; Felix M-40; Ecarom-800; Independent-100; Coral 4000; Spot 80; MC-18; C-8000 etc.

4) Etapa (1981 ... 1985) impulsionează extinderea automatizării și cibernetizării producției cu scopul creșterii productivității și eficienței. Astfel au fost creeate și implementate sisteme informatice pentru conducerea proceselor tehnologice în industrie și pentru conducerea operativă a instalațiilor de producere, transport și utilizare a energiei în ideea reducerii consumurilor specifice și a consumurilor proprii tehnologice.

5) Etapa (1986 ... 1990) va permite extinderea informaticii de sistem la nivelul întregii economii. Se vor introduce în unitățile economico-industriale sisteme informatice ierarhizate care vor lucra în timp real la nivelul structurilor de aparatură. Începînd cu anul 1990 se va generaliza transmisia automată de date între sectoarele economiei naționale. Se va trece masiv la tipizarea elementelor necesare construirii sistemelor informatico-decizionale: se vor crea noi produse-program și limbaje evoluate de programare; se vor crea noi produse-program și limbaje evoluate de programare; se vor construi modele agregat pentru optimizarea sistemelor informatico-decizionale integrate și se vor elabora produse-program pentru dezvoltarea roboticii industriale.

Robotica industrială ca disciplină de concepere, proiectare, montaj, implementare și exploatare a roboților trebuie dezvoltată în țara noastră atît din punct de vedere al numărului de sisteme tehnice instruibile și adaptabile cît și a complexității lor în raport cu cerințele producției cibernetice. Robotul este un mecanism programabil capabil să execute activități umane în condiții grele de muncă după ce a învățat la fața locului manevrele necesare efectuării programului de lucru. Avantajele utilizării roboților industriali sînt în principal următoarele: motori ai creșterii productivității muncii pe baza programelor de calcul; ei se pot folosi în locuri de noxe, temperaturi ridicate fără a solicita condiții ergonomice de lucru; creează premize reale de creștere a populației preactive prin mărirea gradului de instruire a personalului tehnic în învățămînt și a populației postactive prin prelungirea duratei ei de viață pe baza ușurării muncii acesteia. Roboții realizați în țara noastră pot executa lucrări de manipulare și transport, lucrări de vopsire etc. În prezent se studiază mărirea gamei roboților industriali pornind de la prototipurile realizate pe baza soluțiilor originale. Astfel pentru vopsirea caroseriilor de autoturism s-a conceput robotul RIV-1 iar pentru secțiile de sudură, forje și scularie din întreprinderi s-au realizat roboții RIC-25 și RIS-63 cu cinci, respectiv șase grade de libertate. La aceste realizări se mai adaugă roboții REMT-1 și STA-1 primul realizat la Institutul Politehnic din Timișoara iar ultimul la Institutul de Învățămînt Superior din Sibiu. Încă din anul 1980 tehnica de vîrf românească a realizat un robot pentru tehnologii de producție, acționat electric și comandat printr-un automat programabil înzestrat cu microprocesoare și cu un microcalculator. Succesul introducerii și exploatării roboților industriali este condiționat de organizarea exemplară a producției în secțiile de fabricație ale întreprinderilor industriale. Robotica preia la nivelul proceselor industriale partea de execuție care se face după un program de decizii strategico-tactice. Suita de decizii în sistemele informatizate se obține fără erori dacă se apelează la cibernetizarea întregii activități conduse de om. Acest deziderat se poate realiza pe baza ingineriei sistemelor prin conducere descentralizată coordonată prin ierarhizarea obiectivelor și prin armonizarea acestora cu resursele disponibile. La aceasta se adaugă reglarea ierarhizată pe mai multe nivele a proceselor simultan cu legarea subsistemelor reglate cu partea strategico-tactică a sistemului informatico-decizional și optimizarea-ierarhizată a activității cu ajutorul deciziilor muticriteriale.

Informatizarea sistemelor industriale și a celor energetice din țara noastră solicită un efort atît în privința dezvoltării rețelei de calculatoare (hard) cît și a programelor de calculator (soft). Partea hard reclamă la nivel național un cost de 100 000 lei pe om-an și dispunem pînă în prezent de 34 de calculatoare la 10^6 locuitori (RPB—75 calculatoare/10^6 locuitori; RPU—130; RSJ—200; URSS—400). Numărul de terminale în industria republicană este de unul la 2400 de muncitori iar în Franța se prevede pentru 1986 două terminale la 100 de muncitori. Partea de soft se realizează prin trecerea de la trei categorii de programe (programe de bază; programe de aplicații generale și programe de aplicații speciale) la următoarele clase de softuri: sistem de operare propriu-zisă: sistem de gestiune a teleprelucrării; programe de aplicații; programe de gestiune a datelor; sistem de dispecerizare a sistemului informatic. Totodată s-au dezvoltat metodele de inginerie a pro-

gramării cum ar fi: metoda programatorului șef; metoda programării structurale; metoda top-down, etc. Pe baza acestor metode crește substanțial productivitatea muncii și calitatea produselor. Costul programelor a scăzut de circa patru ori în ultimii 20 ani iar costul orei de calculator a ajuns la 960 lei în prezent cu tendință de scădere în viitor. Dezvoltarea eficientă a industriei de programe se poate face pe baza următoarelor idei: orientarea programelor către satisfacerea utilizatorilor; fundamentarea tehnico-economică a producției, pregătirea rațională a fabricației; asistența tehnică în garanție și postgaranție; crearea structurilor de cercetare în domeniu pentru realizarea de softuri la prețuri cît mai mici; industria de softuri trebuie să beneficieze a priori de un mecanism care să recunoască pachetul de programe ca un bun ce respectă indicatorii economici impuși (cost, calitate, eficiență; drept de autor, etc.).

Ca orice tehnologie nouă informatica are un puternic impact economic asupra structurilor în care este implementată atît prin sfera și profunzimea aplicațiilor sale cît și prin efectele ce le generează. Pe baza acestor deziderate informatica capătă atributele unei ramuri industriale distincte care are în structura sa unități specializate funcționînd în regim de autogestiune. Costul pe unitatea de informație este mai mic iar calitatea este mai ridicată cînd prelucrarea datelor se face automat față de prelucrarea manuală. Calitatea informației se exprimă prin gradul în care valoarea ei de întrebuințare satisface nevoile sociale în funcție de disponibilitate, actualitate, precizie, relevanță, timp de răspuns precum și în funcție de parametrii psihosenzoriali și sociali. Calitatea și eficiența sînt concepte complimentare în același sens. Eficiența informaticii se determină ca raportul dintre efectele obținute și eforturile depuse. Se deosebesc două aspecte majore ale eficienței și anume: eficiența cu care se desfășoară producția informatică și eficiența utilizării aplicațiilor informatice. Indicatorii economici cantitativi pentru evidențierea eficienței informaticii sînt: termenul de recuperare; coeficientul de eficiență; venitul net; reducerea personalului neproductiv; creșterea productivității muncii; îmbunătățirea calității produselor; creșterea indicilor de utilizare a fondurilor fixe; scurtarea duratei de execuție; creșterea vitezei de rotație a mijloacelor circulante; sporirea beneficiului și creșterea rentabilității.

Utilizarea sistemelor de conducere cu calculator a proceselor energotehnologice, premiză a informatizării producției, generează următoarele efecte: creșterea economiilor de materiale și energie; utilizarea rațională a capacității de producție; creșterea calității produselor și a productivității: ridicarea sensibilă a siguranței în funcționare simultan cu micșorarea numărul de erori pe care-l poate introduce omul cînd ar avea intervenții directe asupra procesului condus. Aplicarea conducerii asistată de calculator la două cuptoare electrice cu arc din Combinatul Siderurgic Hunedoara a permis creșterea capacității de producție cu 3000 tone/an simultan cu reducerea consumului de energie electrică cu $1,7 \cdot 10^6$ kWh/an ceea ce echivalează cu 22 lei venit la un leu investit. Asistarea informatică a cercetării și proiectării în energetică prin cele 1400 de programe la determinarea variantelor optime de proiect cu modele agregat a permis creșterea eficienței investițiilor cu 20% în hidroenergetică, cu 5% în transportul energiei și cu 10% la nivelul consumatorilor industriali de energie electrică și termică. Creșterea eficienței tehnico-eco-

nomice a activității de informatizare este condiționată de următoarea suită de decizii și acțiuni: alegerea domeniilor de aplicare a calculatoarelor de proces și a soluțiilor de optimizare a întregii activități pe baza modelelor agregat; micșorarea timpului de răspuns prin plasarea calculatoarelor în centrul de decizie; perfecționarea structurilor hard și soft simultan cu ridicarea calificării lucrătorilor din sistemele informatico-decizionale, tipizarea elementelor microelectronicii, premiză a reducerii investițiilor pentru dezvoltarea rețelei hard și înlocuirea mijloacelor tradiționale de transpunere a datelor (cartele perforate) cu suporți magnetici; informatizarea domeniului de interfață sistem mediu și coordonarea fluxurilor de date cu deciziile și cu acțiunile declanșate. Prin informatizare, munca asistată de calculator va fi mai performantă ceea ce va permite reducerea zilei de lucru creindu-se premizele ștergerii rapide a deosebirilor dintre efortul fizic și cel intelectual. Informatizarea permite un transfer de „inteligență" de la oameni către mașini și către mijloacele de muncă modificînd esențial interacțiunea om-calculator în favoarea creșterii eficienței de utilizare a resurselor și de valorificare a creației omului reflectată în decizii novatoare. Formarea și dezvoltarea sistemelor informatizate creează premisa participării directe a fiecărui om cu un minim de cultură informatică la construirea suitelor de decizii în vederea conducerii strategico-tactice-operative a producției în concordanță cu interesele celor ce conduc și a celor conduși. Pentru coordonarea datelor la diverse nivele de conducere-decizie-execuție este necesar ca în sistemele informatizate să existe un codificator-șef, un automatist-șef și un administrator de date. Automatistul-șef va urmări partea de electronică, automatică și cibernetică din rețeaua informatizată iar administratorul de date va gestiona tezaurul de informații pentru decizii. Setul de decizii în sistemele informatizate va înlesni performatizarea activităților astfel ca generarea eficienței economice să nu întîmpine restricții iar aportul omului la aplicarea conceptelor de autoconducere, autogestiune și a acordului global să fie maxim.

Construirea și aplicarea deciziei în sistemele informatizate trebuie făcută ținînd seama că structurile acestea sînt determinate de automatizări suple, de cibernetizare cu feedback pe stare, de microprocesoare și instalații înzestrate cu inteligență artificială care reclamă mutații esențiale în caracterul muncii de execuție și conducere. Astfel executanții se translează spre zona serviciilor devenind urmăritorii proceselor de la terminalele cu display iar conducătorii rămîn numai în topul activității fiind creatori de strategii inovatoare de cibernetizare a întregii activități pe baza concepției sistemice. Marile probleme economico-industriale din cadrul unei economii naționale cum ar fi: criza energetică; criza de materii prime; criza ecologică, criza apei se pot rezolva numai prin decizii revoluționare în care informația capătă un rol strategic la egalitate cu materia primă și energia a cărei lipsă duce la defecte entropice și la dezorganizarea sistemelor pînă la involuție. Impulsionarea dezvoltării sistemelor prin informatizare se face în ideea atingerii performanțelor de pe plan mondial în condiții de economisire și conservare a tuturor resurselor materiale, energie, combustibil pe baza unui algoritm de decizie gîndit și aplicat sistemic în structuri ierarhic cibernetizate.

„TO MY FÁMILY"

A.C.

ENERGY SYSTEMS ENGINEERING

The new approach of the technical-economic problems contained in the work is based on the following ideas: systemic conception of energetics objectives approach in the engineering structure of the management and decision processes, as regards both the design-mounting-exploitation phases and its functional source-consumer structure; modelling of the structure and energetics flow in the operational research theories by taking into consideration the engineering principles of the great systems; construction of softs for the passage of energetics systems to informatization, which enables computer-assisted design and production and facilitates the determination of the optimal variant in the conditions of the new economic financial mechanism.

On the ground of these new orientations, the following problems have been approached: premises of the systems theory and engineering; engineering of the energy systems management; cybernetic modelling of energetics processes along the entire technologic production-consumption chain by means of modal management, optimal control and the theory of catastrophes; engineering of the energy systems organization process in the optimal theory of operational research applied to enterprise functions; engineering of the energetics objectives mounting organization; engineering of the energy systems organization in the theories of technologic installations optimal exploitation and engineering of the decision-information systems.

The conception and models concretized within the work enable the transformation of energetics management from an operational problem into a conception problem in order to take over without any risks the changes imposed by the robotization and cybernetization of energy systems. Thus one can show how the management section of energy systems can be designed by using the engineering models built according to the new theories of operational research.

At the same time, the premises and multilevel and expert models of informatized energy systems are presented in the work, stress being laid on the robotization and cybernetization of energetics activity by means of devices provided with artificial intelligence. In this way, massive doses of intellectual effort are injected at the level of the achievement of engineering management models with the intention to obtain a substantial saving of physical effort and the scope to achieve efficient solutions that should enable to build first quality objectives at minimum cost.

The work aims at motivating the following ideas: orientation of engineering management from energetics towards the conception problems of the great systems

management based on the fundamental research in the field; development of management problems in close relation with the energy systems technology on the basis of energo-cybernetic models; innovation of the management problems and mathematization of design through I.A.D. (information-analysis-decision system) of the structure and flow of the developing energetics systems so that the risk of energy crisis be minimal; finding the optimal management solution of informatized systems so that labour productivity and quality of the works increase in conditions of minimal effort.

Through its themes and content, the work addresses both students in technics and economics, in general, and students from faculties of energetics, in particular, who follow day courses or post-university courses of economic engineering, including specialists in production who are interested in the knowledge and application of engineering management to the construction of the premises of informatized energy systems.

TABLE OF CONTENTS

— Foreword 7

1. CONCEPTS, PRINCIPLES AND MODELS IN THE THEORY AND ENGINEERING SYSTEMS 11

1.1. Preliminary considerations 11
1.2. Methods and Models in the systems engineering 14

2. ENGINEERING OF THE ENERGY SYSTEMS MANAGEMENT PROCESS 19

2.1. Problem formulation 19
2.2. Systemic conception in energetics managements 20
2.3. Management optimization models in systemic appvoach 24
2.4. Strategy of the energetics branch management 27
2.4.1. Phenomenologic aspects of energetic structure and flow 27
2.4.2. Management models of energetics branch 36
2.4.3. Modelling of energetics enterprises 38
2.4.3.1. Phenomenologic aspects of th modelling of energetics enterprises functions 38
2.4.3.2. Mathematical models of energetics enterprises activity 44

3. MANAGEMENT OF ENERGY SYSTEMS ON THE BASIS OF OBJECTIVES 47

3.1. Premises of industrial systems management 47
3.2. Models of industrial dynamics applied to the management of complex systems 54
3.3. Management of energy systems on plan basis 62

4. OPTIMAL MANAGEMENT OF ENERGY SYSTEMS 99

4.1. General concepts and models of optimization 99
4.2. Models in the theory of optimal control and the theory of catastrophes 104
4.2.1. Models in the theory of optimal control 104
4.2.2. Models in the optimal theory of catastrophes 110
4.3. Modal management of energy systems 118
4.4. Cybernetic models of energy systems 123

5. ENGINEERING OF THE ENERGY SYSTEMS ORGANIZATION PROCESS 141

5.1. Problems and models of the energy systems organisations engineering 141
5.2. Conception of the structural organization of energy systems 146
5.3. Engineering of the energy systems organization in the operational research theory .. 149
5.3.1. Phenomenologic aspects of the prognosis-research and risk-catastrophe theories .. 150
5.3.2. Phenomenologic aspects of the stocks-waiting theories 165
5.3.3. Phenomenologic aspects of the equipment-ordering theories 174
5.3.4. Phenomenologic aspects of human engineering 184
5.3.5. Phenomenologic aspects of value engineering and decision theory 195

5.4. Mathematical optimization models of energy systems organization 201
5.4.1. Mathematical models of the research-development function 201
5.4.2. Mathematical models of the commercial function (supply-sale) 207
5.4.3. Mathematical models of the production function 212
5.4.4. Mathematical model of the staff function 219
5.4.5. Mathematical model of the financial-accountacy function 222
5.4.6. Mathematical models of energy flow sheets 225
5.4.7. Mathematical models of decision-information systems 228

6. ENGINEERING OF THE ENERGY SYSTEMS MOUNTING ORGANIZATION .. 233

6.1. Preliminary considerations regarding mounting organization 233
6.2. Optimization algorithms of the mounting organization of energetics obectives 234
6.3. Cybernetics of the energetics installations mounting 267

7. ENGINEERING OF THE ENERGY SYSTEMS ORGANIZATION IN THE THEORY OF ENERGETICS INSTALLATIONS OPTIMAL EXPLOITATION 269

7.1. Organization of the optimal exploitation of energetics resources 269
7.2. Organization of the optimal exploitation of energetics installations 295
7.3. Efficiency and quality of the energy systems exploitation 305
8. ENGINEERING OF THE DECISION-INFORMATION SYSTEMS 327
8.1. Information of energy systems 327
8.2. Engineering of the premise analysis of energy systems robotization 333
8.3. Decisions in informatized energy systems 339

9. CONTENT AND SUMMARY IN ENGLISH 354

10. BIBLIOGRAPHY 358

BIBLIOGRAFIE

1. * * * — *Directivele Congresului al XIII-lea al PCR cu privire la dezvoltarea economico-socială a României în cincinalul 1986 ... 1990 și orientările de perspectivă pînă în anul 2000* Editura Politică 1984.
2. * * * — *Programul — Directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981 ... 1990 și orientările principale pînă în anul 2000.* Editura Politică — 1979.
3. NICOLAE CEAUȘESCU — *Raport la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român,* Editura Politică 1984.
4. NICOLAE CEAUȘESCU — *Resursele energetice și de materii prime,* Editura Politică, 1980.
5. A. CARABULEA — *Inițiere în ingineria sistemelor industriale. Modelarea sistemelor de energie,* Editura tehnică, 1978.
6. ST. BÎRLEA — *Inițiere în cibernetica sistemelor industriale,* Editura tehnică, 1975.
7. M. MALIȚA și C. MIHĂILEANU — *Energia în următoarele trei decenii,* Editura Academiei RSR, 1979.
8. M. FLORESCU, N. MIZIL ș.a. — *Cibernetica, automatică, informatică în industria chimică,* Editura Tehnică, 1979.
9. V. I. NITU — *Bazele teoretice ale energeticii,* Editura Academiei RSR — 1978.
10. M. MALIȚA și M. DRĂGĂNESCU — *Viitorul electronicii și informaticii,* Editura Academiei RSR — 1979.
11. * * * — *Modern trends in cybernetics and systems,* Editura tehnică, 1977.
12. M. MĂNESCU, A. MĂCRIȘ, V. DUMITRU — *Metode matematice moderne aplicate în organizarea și planificarea lucrărilor de construcții și montaje,* Editura Academiei RSR — 1969.
13. A. CARABULEA — *Ingineria sistemelor industriale. Probleme,* Editura didactică și pedagogică — 1977.
14. P. CONSTANTINESCU — *Sisteme informatice, modele ale conducerii și sisteme conduse,* Editura tehnică 1975.
15. R. RĂDULEȚ ș.a. — *Perspectivele de dezvoltare a energeticii,* Editura tehnică 1975.
16. A. CARABULEA și GH. RUȘITORU — *Optimizarea conducerii sistemelor industriale,* Editura didactică și pedagogică, 1976.
17. E. S. BUFFA — *Conducerea modernă a producției.* Editura tehnică, 1975.
18. H. B. MAYNARD — *Manual de inginerie industrială,* Editura tehhică, 1976.
19. M. MALIȚA și GH. ZIDĂROIU — *Matematica organizării,* Editura tehnică, 1975.
20. A. KAUFMANN — *Metode și modele ale cercetării operaționale* — Editura științifică și enciclopedică, 1975.
21. S. LAZĂR — *Analiza drumului critic.* Editura științifică 1968.
22. M. K. STARR — *Conducerea producției. Sisteme și sinteze,* Editura tehnică 1970.
23. A. CARABULEA — *Modelarea sistemelor economico-inginerești.* Editura didactică și pedagogică, 1979.
24. A. KAUFMANN și G. DESBAZEILLE — *Metoda drumului critic,* Editura tehnică — 1971.
25. O. CRIȘAN — *Optimizări decizionale în sistemele electroenergetice.* Editura Facla 1975.

26. R. L. ACKOFF și M. W. SASIENI — *Bazele cercetării operaționale*, Editura tehnică 1975.
27. L. PONTREAGHIN ș.a. — *Théorie mathématique des processus optimaux*, Editura Mir Moscova 1979.
28. VENIKOV V. A. — *Cybernetics in Electric Power Systems*. Mir Publishers-Moccow 1979.
29. MORRIS H. DE GROOT — *Optimal statistical Decisions*. Mc. Grow-Hill Book Company New-York 1972.
30. AL. ROȘU — *Teoria grafelor. Algoritm. Aplicații*. Editura militară 1974.
31. L. S. ELMAGHRABY — *Proiectarea sistemelor de producție*. Editura tehnică 1968.
32. AL. TACU ș.a. — *Optimizarea activității economice a întreprinderilor*. Editura Junimea — 1974.
33. I. DUMITRESCU ș.a. *Prelucrarea automată a datelor pentru întocmirea bilanțurilor energetice*. Editura tehnică 1979.
34. M. FLORESCU, M. MALIȚA și H. HAROWITZ — *Economia mondială, Orizont 2000* — Editura Academiei RSR 1980.
35. C. PICOȘ. C. RUSSU ș.a. — *Normarea tehnică pentru prelucrări prin așchiere*. Editura tehnică 1979.
36. J. J. MODER și C. R. PHILLIPS — *Project Management with C.P.M. and PERT*. Reînhold Publishing Corp-New-York-1964.
37. A. MĂCRIȘ și V. DUMITRU — *Aplicații ale cercetării operaționale în probleme de conducere, organizare și planificare a lucrărilor de investiții, construcții și montaj*. Editura Academiei RSR 1972.
38. G. CIUCU, V. CRAIU Și A. ȘTEFĂNESCU — *Statistica matematică și cercetarea operațională*. Editura didactică și pedagogică, București, 1978.
39. GH. GH. VRÎNCEANU și ST. MITITELUL — *Probleme de cercetare operațională*. Editura tehnică 1978.
40. GH. BOLDUR — LĂTESCU, GH. CIOBANU și I. BĂNCILĂ — *Cartea analistului de sistem*. Editura științifică și enciclopedică 1976.
41. I. GH. CARABOGDAN — *Probleme actuale ale producerii energiei electrice și termice*. IPB — 1980.
42. A. CARABULEA — *Economia sistemelor de energie I.P.B.* 1982.
43. I. AURIAN, GH. BOLDUR, S. LAZĂR — *Cercetarea operațională în construcții*. Editura științifică 1967.
44. AL. DĂNESCU, S. BUCURENCIU și ST. PETRESCU — *Utilizarea energiei solare*. Editura tehnică, București 1980.
45. A. CARABULEA — *Ingineria și analiza valorii aplicată la optimizarea sistemelor de energie A.M.C.* — 1983.
46. M. FLORESCU — *Ingineria — o știință multidimensională* — Editura tehnică 1982.
47. T. IONESCU — *Sisteme și echipamente pentru conducerea proceselor*. Editura didactică și pedagogică — 1982.
48. O. NICOLESCU și T. ZORLENȚAN — *Joc de conducere a întreprinderii*. Litografia ASE— 1977.
49. GH. BOLDUR ș.a. — *Analiza sistemelor complexe*. Editura științifică și enciclopedică 1982.
50. M. MALIȚA și GH. ZIDĂROIU — *Incertitudine și decizie*. Editura Științifică și enciclopedică 1980.
51. M. RĂFIROIU — *Modele ale cercetării operaționale aplicate în construcții*. Editura tehnică — 1980.
52. M. CÎRLAN — *Optimizarea organizării și conducerii reparațiilor instalațiilor termomecanice din cadrul sistemelor de energie*. Teză de doctorat I.P.B. 1979.
53. NEMETH LADISLAU — *Programarea în timp a producției*. Teză de doctorat I.P.B. 1970.
54. N. TEODORESCU ș.a. *Metode ale cercetării operaționale în gestiunea întreprinderii*. Editura tehnică 1972.
55. V. DOBRIN — *Teoria căutării. Aplicații*. Editura Militară 1976.
56. T. BARON — *Metode statistice pentru analiza și controlul calității producției*. Editura didactică și pedagogică 1979.
57. E. DOBRESCU — *Optimul economiei socialiste*. Editura politică, 1976.

58. R. THOM — *Stabilité structurelle et morphogenèse Ediscience*, Paris, 1972.
59. ED. NICOLAU — *Aplicații biologice ale teoriei catastrofelor. În probleme actuale de informatică și conducere*. Editura Dacia pag. 459 ... 465.
60. M. STOICA — *Analiza de sistem prin metode ale topologiei diferențiale I.P.B.* 1979.
61. V. A. URSEANU — *Metode statistice de cercetare a legităților de formare și mișcare a prețurilor*. Editura Academiei RSR — 1973.
62. * * * — *Dynamical Systems* — Warwick 1974, Springer M. Y. 1975.
63. M. MĂNESCU ș.a. — *Cibernetica — Aplicații în economie*. Editura Academiei RSR — 1982.
64. I. URSU, V. MERCEA, L. GROȘANU, C. MIRCIOIU și G. VĂSARU. *Investigații în domeniul energiei*. Editura Dacia 1982.
65. L. A. ZADEK — *Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes*. Academic Press New-York, 1975.
66. N. GEORGESCU — *ROEGEN — The Entrophy Low and the Economic Process*, Harvard University, Press, Cambridge, Mass-1971.
67. H. ALBERT, I. FLOREA, I. IORDĂNESCU — *Alimentarea cu energie a întreprinaerilor industriale*. Editura tehnică 1978.
68. VL. IONESCU și EL. ROSINGER — *Programarea matematică cu aplicații în energetică*. Editura Academiei RSR, 1967.
69. L. K. KIRCHMAYER — *Economic Operation of power Systems*. J. Wiley, 1958.
70. L. K. KIRCHMAYER — *Economic control of power systems*, J. Wiley, 1959.
71. I. ANGHELOIU, I. MINCU, A. GHIȚĂ — *Introducere în sisteme tehnice mari*. Editura Militară București 1980.
72. R. E. BELLMAN și S. E. DREYFUS — *La programation dynamique et ses applications*, Paris, Dunod, 1965.
73. I. MARKOVICI — *Sisteme energetice. Regimuri de funcționare*. Editura tehnică 1960
74. E. COSTIN — *Prognoza consumului de energie*. Centrul de documentare energetică — MEE — 1973.
75. A. CARABULEA și I. GH. CARABOGDAN — *Modele de bilanțuri energetice reale și optime*. Editura Academiei RSR 1982.
76. D. TEODORESCU — *Modele stochastice optimizate*. Editura Academiei RSR 1982.
77. M. BIJI și E. BIJI — *Statistica teoretică*. Editura didactică și pedagogică 1979.
78. I. CEAUȘU — *Organizarea și conducerea activităților de control tehnic de calitate*. Editura Scrisul românesc 1980.
79. R. R. VAGER. *Robot planning with fuzzy sets*. Robotica International Journal of information, Education and Research in Robotics and Artificial Intelligence nr. 1 1983.
80. *A.* BRĂGARU — *Bazele optimizării proceselor tehnologice din construcția de mașini*. Litografia IPB 1978.
81. L. TÖVISSI, E. SCARLAT și AL. TAȘNADI — *Metode și modele ale analizei economice structuale*. Editura științifică și enciclopedică 1979.
82. O. ONICESCU și V. ȘTEFĂNESCU — *Elemente de statistică informațională*, Editura tehnică 1979.
83. S. WATANABE — *Knowing and Guessing A Quantitative Study of Inference and Information*, Wiley, New-York, 1969.
84. H. THEIL — *Economics and Informations Theory*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1967.
85. A. CARABULEA — *Cibernetica sistemelor de energie*. Comunicare la sesiunea științifică a facultății de energetică I.P.B. 1982.
86. A. CARABULEA — *Economia sistemelor de energie*. Comunicare la sesiunea științifică a facultății de energetică. I.P.B. — 1982.
87. J. FORRESTER — *Dinamica industrială*. Editura tehnică — București, 1981.
88. ST. ODOBLEJA — *Psihologia consonantistă*. Editura științifică și enciclopedică București, 1982.
89. V. M. CĂTUNEANU — *Materiale pentru electronică*. EDP — 1982.
90. H. D. HAUSTEIN and H. MAIER. *The Diffusion of flexible Automation and Robots*. International Institute for Applied Systems Analysis. A — 2361. Luxemburg — 1981
91. F. STĂNCIULESCU — *Dinamica sistemelor mari*. Editura Academiei R.S.R. — 1982.
92. V. IONESCU și C. POPEEA. *Optimizarea sistemelor*, Editura Didactică și Pedagogică — 1981.
93. M. BELIȘ — *Bioingineria sistemelor adaptive și instruibile*. Editura științifică și enciclopedică — 1981.

94. N. POPOVICIU. *Strategii optimale pentru probleme markoviene de decizie.* Editura Academiei R.S.R. — 1982.
95. JOHN HARTLEY. *Robots at work. A practical quide for engineers and manajers.* North-Holland Publisking Company — 1983.
96. * * * *Tehnologiile de vîrf și societatea.* Editura Politică 1983.
97. C. RUSU și S. AGAPIE. *Fundamentarea nivelului productivității muncii în industrie.* Editura Junimea 1983.
98. T. COCIRLĂ și G. POCINOG. *Metode și tehnici moderne folosite în conducere și organizarea întreprinderilor.* Editura Facla 1983.
99. A. MĂCRIȘ, A. GHEORGHE și M. CÎRLAN. *Optimizări în ingineria energetică.* Editura tehnică, 1983.
100. A. CARABULEA. *Ingineria sistemelor informatico-decizionale.* Conferința Națională de Energetică. I.P.B. — 1983.
101. * * * *Energy, Money, Materials and Engineering.* Pergamon Press — London U.K. Octomber 1982
102. P. LAGARDEC. *Major Technological Risk.* L'Ecole Polytechnique Paris — 1982
103. E. HEER. *Robots and Manipulator.* Part 1 and Part 2. Jet Propulsion Laboratories. California U.S.A. June — 1975
104. * * * *Reliability Engineering* — Toronto — Canada — 1980
105. H. AKASHI. *Stochastic and Large Systems* (vol. 2); *Appropriate Technology and Economic Management* (vol. 7). Proceedings of the 8-th Triennial World Congress of I.F.A.C. Kyoto Japan August 1981
106. P. FLEISSNER. *Systems Approach to Appropriate Technology Transfer.* Proceedings of the I.F.A.C. Symposium. Laxenburg-1983
107. J. C. DENTON. *Energy Use Management.* Energy Associates Belton 1983
108. G. HELCKE. *The Energy Saving Guide.* Commission of the European Communities, Joint Research Centre ISPRA Italy 1981
109. M. MAROIS. *Towards a Plan of Actions for Mankind. Long Range Energetic Resources and Growth* (vol. 2). Institut de la Vie Paris 1977
110. J. SILVERMAN. *Energy Storage Institute for Physical Science.* University of Maryland USA. 1980.
111. C. B. SMITH. *Energy Management Principles. Applications, Benefits. Savings.* Anco Engineers Inc. Santa Monica. U.S.A. — 1981
112. * * * *Environment and Energy.* Edited by UNEC for Europe Geneva-1979
113. R. FERRARO, D. TURRENT and R. GODOY. *Monitoring Solar Heating Systems.* Edited by Energy Conscious Design. London U.K. — 1983
114. M. MOO-YOUNG. *Comprehensive Biotechnology and Bioengineering.* Principles, Methods and Applications. Pergamon Press — 1984
115. COWAN H. J. *Predictive Methods for the Energy Conserving Design of Buildings* — Pergamon Press — 1983
116. M. J. DEBENHAM. *Miroprocessors. Principles and Applications* — Pergamon Press — 1984
117. S. W. YUAN. *Energy, Resources and Environment.* Proceedings of the first U.S. China Conference, Beijing, November 1982
118. H. ASHLEY; R. L. RUDMAN; C. G. WHIPPLE. *Energy, Policy/*Economics Pergamon Press — 1984
119. G. B. WILLIAMS. *Fault Finding on Microprocessor Based Systems,* Pergamon Press — 1984
120. R. W. GELLIE. *Distributed Computer Control Systems,* Pergamon Press — 1983
121. A. CARABULEA; R. F. CHIAMIL; O. M. CUREA; B. R. SANDRU; D. A. DIMITRIU și M. V. ȘOINEANU, *Ingineria sistemelor informatizate aplicată la dezvoltarea roboticii industriale.* Comunicare la cel de-al treilea simpozion „Ingineria Sistemelor și Cibernetică Industrială" I.P.B. — 1984
122. A. Carabulea *Thz Theory of Engineering Management Applied to the Design, Assembly and Operation of Power Projects in an Archemic* Approach EMTA — 1986 — International Conference Serieson Advances in Engineering Management. Theory and Applicationns. University College of Swansea U. K. Sept. 1986.

INGINERIA SISTEMELOR DE ENERGIE

(ENERGY SISTEMS ENGINEERING)

— POSTFAȚĂ —

Gîndirea nouă a problemelor tehnico-economice din cuprinsul lucrării are la bază următoarele idei: concepția sistemică de abordare a obiectivelor energetice în structura ingineriei proceselor de conducere-organizare și decizie, atît în privința fazelor de proiectare-montaj-exploatare, cît și a structurii sale funcționale sursă-consumator; modelarea structurii și fluxului energetic în teoriile cercetării operaționale luînd în considerație principiile ingineriei sistemelor mari; construirea softurilor în ideea trecerii sistemelor de energie pe cale informatizării, ceea ce permite realizarea proiectării și producției asistate de calculator și înlesnește determinarea variantei optime în condițiile noului mecanism economico-financiar.

Pe baza acestor noi orientări s-au abordat următoarele probleme: premisele teoriei și ingineriei sistemelor; ingineria conducerii sistemelor de energie; modelarea cibernetică a proceselor energetice pe întregul lanț tehnologic producție-consum prin intermediul conducerii modale, a controlului optimal și a teoriei catastrofelor; ingineria procesului de organizare a sistemelor de energie în teoria optimală a cercetării operaționale aplicată pe funcțiuni; ingineria organizării montajului obiectivelor energetice; ingineria organizării sistemelor de energie în teoriile exploatării optimale a instalațiilor tehnologice și ingineria sistemelor informatico-decizionale.

Concepția și modelele concretizate in cuprisul lucrării permit transformarea managementului energetic dintr-o problemă operațională într-o problemă de concepție pentru a se prelua fără riscuri schimbările impuse de robotizarea și cibernetizarea sistemelor de energie. Astfel se arată cum se poate proiecta partea de conducere și organizare (management) a sistemelor de energie, utilizîndu-se modelele inginerești construite în teoriile noi ale cercetării operaționale. Totodată se prezintă premisele și modelele multinivel și expert ale sistemelor informatizate de energie, insistîndu-se asupra robotizării și cibernetizării activității energetice prin dispozitive prevăzute cu inteligența artificială. Pe aceste căi se injectează doze masive de efort intelectual la nivelul realizării modelelor de management ingineresc în ideea economisirii substanțiale a efortului fizic și cu scopul realizării unor soluții eficiente care permit construirea unor obiective de calitate în condiții de cost minim.

Scopul lucrării constă în motivarea următoarelor idei: orientarea managementului ingineresc din energetică către problemele de concepție ale conducerii sistemelor mari care au la bază cercetarea fundamentală în domeniu; dezvoltarea problemelor de organizare-conducere în strînsă legătură cu tehnologia sistemelor de energie pe

baza modelelor energocibernetice; inovarea problematicii conducere-organizare și scientizarea proiectării prin I.A.D. (informare-analiză-decizie) a structurii și fluxului sistemelor energetice în dezvoltare, astfel ca riscul crizei de energie să fie minim; găsirea soluției optime de organizare-conducere a sistemelor informatizate astfel ca productivitatea muncii și calitatea lucrărilor să crească în condiții de efort minim.

Prin tematică și conținut lucrarea se adresează atît studenților din învățămîntul tehnic și economic, în general, cît și celor din facultățile cu profil energetic, în special, de la cursurile de zi, cît și de la cursurile postuniversitare de inginerie economică, inclusiv specialiștilor din producție, interesați în cunoașterea și aplicarea managementului inginerese la construirea premiselor sistemelor informatizate de energie.

editura junimea